

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. А. Баум, Л. П. Орленко и др. Физика взрыва. М., Наука, 1975.
2. К. И. Козорезов, В. В. Сергеев. ФГВ, 1975, 11, 1, 102.
3. T. J. Ahrens, C. F. Allen, R. L. Kovach. J. Appl. Phys., 1971, 42, 2, 815.
4. W. S. Filler. VI-th Symp. of Combustion at Yale University, 1956.
5. Гласс, Чен, Броуд. РТК, 1974, 12, 3, 139.
6. К. П. Станюкович. Неустановившиеся движения сплошной среды. М., Наука, 1971.
7. А. П. Погорелов, Б. Л. Глушак и др. ФГВ, 1977, 13, 5, 771.
8. В. М. Кузнецов, А. Ф. Шацкевич. ФГВ, 1977, 13, 5, 733.
9. E. Lee, H. Horning. XII-th Symp. (Intern.) of Combustion, 1969.

О ПОДОБИИ ВЗРЫВОВ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

Ф. А. Авдеев, В. Ф. Евменов, А. Н. Ромашов,
В. М. Чубаров
(Москва)

При взрывах на выброс воронка выброса, выемка или канал образуются за счет двух факторов: собственно выброса породы и котловой полости. Образование полости связано с объемным деформированием породы, поэтому затраты энергии взрыва на образование полости при наличии цилиндрической симметрии должны быть пропорциональны площади поперечного сечения заряда или образующейся цилиндрической полости. Если обозначить через q_1 ту часть заряда, которая расходуется на деформацию породы и образование полости, то можно записать соотношение

$$q_1 \sim L_1^2, \quad (1)$$

где L_1 — линейный размер деформируемого объема. Следовательно, для радиуса полости будет справедливо соотношение

$$r_{\text{п}} \sim q_1^{1/2}. \quad (2)$$

Остальная часть заряда, которую обозначим через q_2 , расходуется на перемещение породы за пределы воронки в поле силы тяжести. Масса перемещаемой породы P пропорциональна площади поперечного сечения воронки, т. е. L_2^2 , где L_2 — характерный линейный размер воронки. Чтобы выбросить породу, ее надо поднять на высоту порядка L_2 . Затраты энергии должны быть пропорциональны PL_2 , т. е. L_2^3 . Отсюда

$$q_2 \sim L_2^3. \quad (3)$$

Линейный размер объема выброшенной породы, следовательно, будет пропорционален $q_2^{1/3}$. На основании (1), (3)

$$q = q_1 + q_2 = AL^2 + BL^3, \quad (4)$$

где L — некоторый общий характерный линейный размер.

Наиболее привычна форма записи, когда в качестве аргумента берется масса заряда и ищется зависимость размеров воронки или выемки от этого аргумента. Чтобы составить такую зависимость, представим площадь поперечного сечения выемки в виде двучленной формулы

$$S = S_{\text{п}} + S_{\text{в}}, \quad (5)$$

где $S_{\text{п}}$ и $S_{\text{в}}$ — составные части выемки, образованные соответственно за

счет вытеснения (уплотнения) породы и ее выброса. Для указанных составных частей можно записать следующие выражения:

$$S_{\pi} = aq, \quad (6)$$

$$S_{\text{в}} = bq^{2/3}. \quad (7)$$

Здесь q — масса единицы длины заряда. Отсюда общая зависимость площади поперечного сечения выемки от массы заряда должна иметь вид

$$S = aq + bq^{2/3}. \quad (8)$$

Коэффициент a , как и в случае взрывов сосредоточенных зарядов, характеризует показатель протреливаемости грунта; коэффициент b соответствует объему выброшенного грунта при взрыве некоторого единичного заряда.

Для определения численных значений a и b использовались данные о параметрах выемок из [1, 3]. Вполне естественно при этом ожидать сравнительно большого разброса точек, поскольку используемые данные относятся к различным грунтам и условиям взрывания.

На рис. 1 приведена зависимость площади поперечного сечения выемки от массы заряда. Сплошная линия соответствует формуле (8) при $a = 0,15 \text{ м}^2 (\text{кг/м})$, $b = 1,3 \text{ м}^2 (\text{кг/м})^{2/3}$. Точность определения коэффициентов составляет примерно $\pm(0,05 \div 0,1)$.

Согласно [3], сечение цилиндрических полостей в грунтах при взрывах удлиненных зарядов описывается формулой

$$S_{\pi} = (0,18 \div 0,44)q \quad (9)$$

(размерность S_{π} — м^2 ; q — кг/м). Среднее значение показателя протреливаемости равно $0,31 \text{ м}^2 (\text{кг/м})$. Сопоставление этого значения с определенной выше величиной коэффициента a показывает различие приблизительно в два раза. Отсюда можно заключить, что при образовании выемки только половина камуфлетной полости влияет на ее общее сечение.

На рис. 2 приведено сечение характерной выемки. Видно, что при цилиндрических взрывах действительно имеет значение только нижняя половина котловой полости; верхняя половина попадает в объем выброшенной породы. Поэтому вполне естественно, что значение коэффициента a оказалось примерно в два раза меньше показателя протреливаемости. Напомним, что при взрывах сосредоточенных зарядов имеет место аналогичное явление с той лишь разницей, что занижение a менее существенно: около 20%. Различие вклада полости в общий объем образующихся выемок и воронок при цилиндрических и сосредоточенных зарядах объясняется, очевидно, тем, что цилиндрические заряды обычно взрываются на относительно малых глубинах. Показатель действия выброса для них равен $2,5 \div 3,0$, в то время как при сосредоточенных взрывах — не более двух. Совпадение порядков величин коэффициента a и показателя протреливаемости показывает, что и для цилиндрических зарядов представление зависимости объема выброса от массы заряда в виде двучленной формулы оправдано.

На рис. 3 представлены зависимости линейных размеров выемок от массы заряда. Естественно предположить, что линейные размеры пропорциональны корню из площади поперечного сечения. Для их определения могут быть рекомендованы следующие формулы:

$$\Delta = (2,7 \div 3,0)\sqrt{0,15q + 1,3q^{2/3}}, \quad (10)$$

$$h = (0,40 \div 0,70)\sqrt{0,15q + 1,3q^{2/3}}, \quad (11)$$

где Δ и h — ширина и глубина выемки в метрах.

Линии на рис. 3 охватывают области, соответствующие указанным в формулах (10), (11) диапазонам коэффициентов. Наиболее объектив-

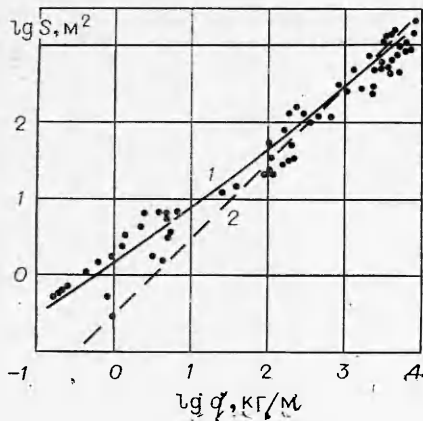


Рис. 1. Зависимость площади поперечного сечения горизонтальной выемки (1) и камуфлетного цилиндрического канала (2) от массы заряда на погонный метр.

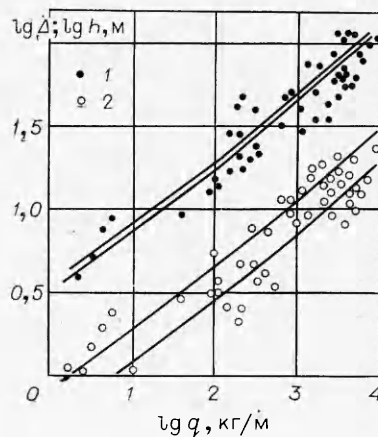


Рис. 3. Зависимость ширины (1) и глубины (2) выемки от массы заряда на погонный метр.

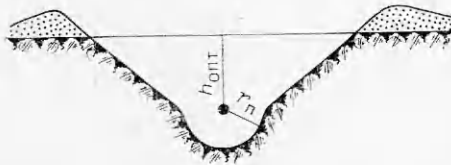


Рис. 2. Сечение выемки, образованной взрывом горизонтального заряда выброса на оптимальной глубине.

ной характеристикой выемки является площадь поперечного сечения, а ее линейные размеры подвержены влиянию случайных факторов и, в частности, сильно зависят от связности грунта, влияющей на оползание бортов выемки. Поэтому при неизменности площади сечения глубина и ширина выемки могут меняться в широких пределах.

Существенный интерес представляет вопрос об определении оптимальной глубины заложения заряда, при которой можно получить максимальное сечение выемки. Для малых масштабов взрыва этот вопрос решается сравнительно легко, поскольку всегда есть возможность провести специальную серию взрывов на различной глубине. Однако для больших масштабов такой метод неприемлем ввиду его трудоемкости и дороговизны. Вместе с тем именно для больших масштабов выбор правильной глубины расположения зарядов имеет первостепенное значение. Известные из практики случаи неудачных промышленных взрывов обусловлены в основном неправильным выбором глубины. Из всего сказанного становится очевидным, что определение критерия подобия для оптимальной глубины заложения цилиндрических зарядов представляет важную задачу.

Данных по экспериментальному определению оптимальной глубины в настоящее время недостаточно для того, чтобы по ним построить надежную зависимость этого параметра от масштаба взрыва. Для малых масштабов такие результаты имеются в работе [1]. Некоторые сведения для крупных взрывов можно получить из результатов промышленных взрывов, проведенных трестом Союзвзрывпром [4]. Зависимость относительного сечения разных участков Большого наманганского канала от приведенной глубины заложения зарядов показана на рис. 4. В целом разброс точек велик. Однако по точкам, относящимся к определенным участкам канала и отмеченным на рис. 4 одинаковыми значками, можно заключить, что основная масса зарядов взорвана на оптимальной глубине. Поэтому при определении общей зависимости оптимальной глубины от масштаба взрыва фактические глубины заложения зарядов при указанных промышленных взрывах можно в первом приближении считать оптимальными.

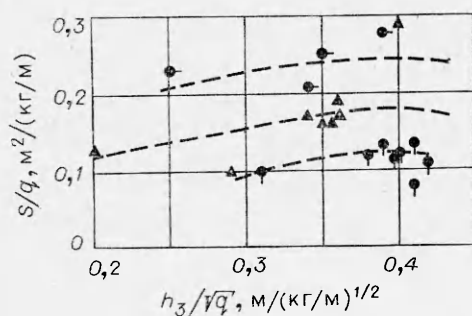


Рис. 4. Зависимость приведенного сечения выемки от относительной глубины заложения заряда для различных участков Большого наманганского канала.

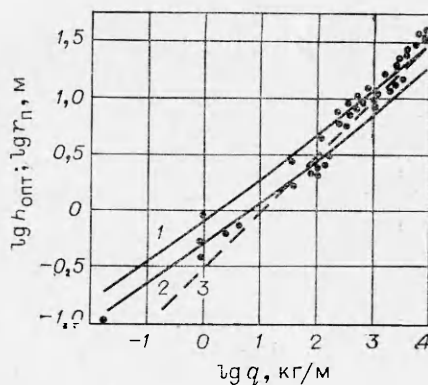


Рис. 5. Зависимость оптимальной глубины заложения (1, 2) и радиуса полости (3) от массы заряда.

На рис. 5 приведена зависимость оптимальной глубины заложения зарядов от его массы. Для описания экспериментальных точек аналитической зависимостью предположим, что оптимальная глубина также пропорциональна корню квадратному из сечения выемки. На рис. 5 проведены линии, соответствующие формуле

$$h_{\text{опт}} = k\sqrt{S}, \quad (12)$$

где $k = 0,69$ (1) и $0,43$ (2). Сопоставление линий с экспериментальными точками показывает, что ни одна из них не согласуется с ними во всем диапазоне весов зарядов. При небольших масштабах взрыва формула (12) с $k = 0,43$ удовлетворительно описывает данные эксперимента, в то время как при больших масштабах оптимальная глубина растет явно быстрее.

Чтобы понять причины указанного отклонения, сравним оптимальные глубины с радиусом камуфлетной цилиндрической полости. На рис. 5, 3 приведена средняя зависимость радиуса цилиндрической полости от веса заряда, полученная по формуле (9). Видно, что при малых масштабах радиус полости меньше оптимальной глубины. Это и определяет, как видно из (8), малый вклад ее в общее сечение выемки. Однако с ростом масштаба первый член формулы (8) растет быстрее, поэтому его роль постепенно увеличивается. При $q \approx 10$ кг/м радиус полости становится равным оптимальной глубине заложения заряда. Если при дальнейшем увеличении масштаба взрыва выбор оптимальной глубины проводится по формуле (12), то глубина заложения заряда окажется меньше радиуса полости, которую в состоянии создать данный заряд. При таком способе размещения заряда, очевидно, полость окажется «недоразвитой». И хотя по выбросу эффект был бы оптимальным, по размерам полости получится проигрыш. Поскольку вклад полости в общее сечение выемки при больших масштабах взрыва является определяющим, то и выбор оптимальной глубины надо вести именно по этому фактору действия взрыва. Для образования полости располагать заряд на глубине, меньшей радиуса этой полости, нецелесообразно.

Начиная с массы заряда 10 кг/м и выше, как видно из рис. 5, радиус полости фактически совпадает с оптимальной глубиной заложения заряда. На основании изложенных выше соображений этот результат представляется теперь физически понятным. Он имеет также и практическое значение, поскольку дает основание для разработки простого метода определения оптимальных глубин при крупных взрывах в различных грунтах. Действительно, поскольку оптимальная глубина равна ра-

диусу полости, то для данного участка, где необходимо определить оптимальную глубину, достаточно провести небольшой цилиндрический взрыв в скважине и найти показатель простреливаемости для данных грунтов. Затем рассчитывается радиус полости для основного заряда, который равен оптимальной глубине его заложения. Учитывая, что каналы могут иметь большую протяженность, переменное сечение и прокладываются в различных грунтах, предлагаемый метод определения оптимальной глубины представляется перспективным.

Сопоставим предлагаемый метод расчета с теми методами, которые в настоящее время приняты в практике взрывных работ. Наиболее общепринятой считается зависимость вида [3]

$$d \approx k\sqrt{S}, \quad (13)$$

где d — диаметр заряда; S — площадь сечения выемки; k — коэффициент.

Эта зависимость означает прямую пропорциональность между массой заряда (на единицу длины) и площадью поперечного сечения выемки, т. е. соответствует геометрическому закону подобия. При таком подходе влиянием силы тяжести пренебрегается. Учитывая малость диапазона q , для которых обычно устанавливается эмпирическая связь, формулы типа (13) могут достаточно хорошо описывать результаты опытов. Формула (8) и график на рис. 1 показывают, что если представлять зависимость между q и S в виде

$$S \sim q^n, \quad (14)$$

то фактическое значение показателя n будет переменным. Так, при $q = 0,1 \div 100$ кг/м величина $n = 0,68 \div 0,75$, т. е. заметно меньше единицы. Это значит, что при малых масштабах взрыва нет геометрического подобия, и чем меньше масштаб, тем оно менее справедливо. Величина n приближается к единице при $q \approx 1000$ кг/м и выше.

Для глубины заложения заряда рекомендуется формула вида [3]

$$h \sim q^m, \quad (15)$$

где $m = 1/3$. Формула (15) также относится к сравнительно малым масштабам взрыва. Если считать, что глубина заложения пропорциональна корню квадратному из площади сечения выемки, то, как следует из рис. 5, среднее значение показателя m оказывается равным 0,35, т. е. довольно близко совпадает с указанным в работе [3]. При этом следует подчеркнуть, что значение $m = 0,35$ исключает геометрическое подобие, в то время как при сопоставлении площади сечения выемки и массы заряда оно принималось за основу (формула (13)). Эта противоречивость в обработке экспериментальных данных и конструировании эмпирических формул вполне естественна, если при их построении не учитываются физические соображения. Применительно к глубине заложения зарядов принцип геометрического подобия, как видно из рис. 5, оказывается справедливым при $q \geq 100$ кг/м, и величина m в формуле (15) должна быть близка к 0,5.

При построении эмпирических формул для определения линейных размеров выемок также наблюдаются аналогичные противоречия. В существующих представлениях по действию горизонтальных цилиндрических зарядов на выброс они находят естественное объяснение, если использовать предлагаемый в данной работе подход к вопросам подобия. Наглядность физических соображений, положенных в основу этого подхода, и его непротиворечивость экспериментальным данным позволяют сделать вывод о его перспективности.

Очевидно, связь между сечением выемки S и весом заряда на единицу длины q целесообразно записывать в виде

$$S = ck_{\pi}q + bq^{2/3},$$

где k_{π} — показатель простреливаемости грунта; c — коэффициент, харак-

теризующий долю использования котловой полости. На основании имеющихся экспериментальных данных можно принять следующие численные значения коэффициентов: $c = 0,5 \pm 0,1$, $k_n = 0,31 + 0,12 \text{ м}^2 (\text{кг/м})$, $b = 1,3 \pm 0,1 \text{ м}^2 (\text{кг/м})$. Неточность этих коэффициентов определяется в основном отсутствием данных о показателях простреливаемости тех конкретных грунтов, в которых проводились промышленные и экспериментальные взрывы. В дальнейшем, очевидно, на эту характеристику грунтов необходимо обратить особое внимание и определять ее при всех последующих взрывах.

Поступила в редакцию
11/X 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. М. Кушнарев, М. П. Беликов. Взрывные работы в гидромелиоративном и сельском строительстве. М., Изд-во литературы по строительству. 1972.
2. Взрывные работы в грунтах. Киев, Наукова думка, 1975.
3. А. А. Вовк, Г. И. Черный и др. Основы динамики грунтов. Киев, Наукова думка, 1968.
4. Технический отчет о строительстве Большого наманганского канала взрывами на выброс. М., ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР. 1975.

ДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ ВЗРЫВА НА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

Н. В. Попова, И. П. Федорова, Е. Г. Попов

(Днепропетровск)

Превращения в железоуглеродистых сплавах при высоких давлениях и температурах, больших скоростях нагрева и охлаждения постоянно привлекают внимание исследователей. Наиболее высокие давления (10^{10} Н/м² и выше) достигаются путем соударения металлических пластин, разогнанных взрывом. Обнаружены фазовые переходы и изменение микроструктуры [1]. Общий нагрев металла в таких экспериментах незначителен, но узкий слой под соударяющимися поверхностями из-за пластических течений разогревается гораздо сильнее. В нем найдены новые состояния с отличным типом кристаллической решетки и твердые растворы веществ, помещавшихся на поверхности [2—4]. Прослойка газа между пластинами от резкого сжатия может нагреваться до 10^4 К и реагировать с металлом, при этом возможно внедрение азота в металл с образованием соединений [5].

Процессы в поверхностном слое при ударе скоротечны и трудно контролируемы, сам слой имеет чрезвычайно малую толщину. Поэтому для исследования термических эффектов часто применяют ударное нагружение пористых материалов, дополнительный подогрев или охлаждение образцов. Так, захлопывание капли расплава между медными пластинами приводит к скоростям охлаждения $\sim 10^7$ К/с, при которых фазовые превращения претерпевают значительные изменения [6].

Развитие лазерной техники, применение ее в обработке материалов повлекли за собой исследование действия мощных импульсов излучения на вещество. При достигнутых скоростях нагрева и охлаждения 10^8 К/с диффузионные процессы в твердых фазах не успевают протекать. Импульсы короче 10^{-6} с сопровождаются гидродинамическими явлениями, образованием в металле ударной волны, что вызывает своеобразные изменения структуры сплавов в очаге облучения [7].