

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Цикулин. Ударные волны при движении в атмосфере крупных метеоритных тел. М.: Наука, 1969.
2. M. N. Plooster. Phys. Fluids, 1970, 13, 11, 2665.
3. А. А. Васильев, С. А. Ждан. ФГВ, 1981, 17, 6, 99.
4. В. И. Мали, А. К. Ребров, Г. А. Храмов и др. ФГВ, 1981, 17, 3, 122.
5. Л. А. Васильев. Тепевые методы. М.: Наука, 1968.
6. Г. А. Храмов, С. Ф. Чекмарев. Изв. АН СССР. МЖГ, 1982, 4, 113.
7. В. Ф. Куропатенко. ЧММСС, 1977, 8, 6, 1968.
8. Л. В. Овсянников. Лекции по основам газовой динамики. М.: Наука, 1981.

## О ВЛИЯНИИ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ НА ПАРАМЕТРЫ ВЫЕМКИ ВЫБРОСА

*О. А. Арутюнов, С. С. Григорян, Р. З. Камалян  
(Ташкент, Москва)*

Влияние влажности грунтов на различные эффекты подземных взрывов [1—3] интересно тем, что в связи с наблюдаемым существенным изменением физико-механических свойств грунтов из-за различной влажности возникает принципиальная возможность существенного изменения параметров воздействия взрыва на грунт. В [2, 3] установлено, что при росте влажности грунта увеличивается необратимая его деформация, она достигает некоторого максимального значения, а затем уменьшается до минимума при полном водонасыщении. Отсюда следует, что существует некоторая оптимальная величина влажности (разная для различных грунтов), при которой действие взрыва наиболее эффективно. Несомненно, что указанные эффекты должны влиять и на результаты взрывов на выброс в грунтах.

В настоящей работе приведены некоторые результаты экспериментального исследования влияния влажности грунта (лессовидных суглинков) на параметры образующейся выемки выброса при взрыве горизонтальных цилиндрических зарядов.

Для практических целей наиболее интересен конечный результат взрыва, выражающийся в образовании выемки выброса. Основные параметры выемки: видимая ее глубина  $H$ , ширина по верху  $B$  и площадь поперечного сечения  $S$ . Задача исследований — установление характера изменения указанных параметров и расхода ВВ в зависимости от влажности грунтов, т. е. построение зависимостей вида

$$S = S(Q, h, W), \quad H = H(Q, h, W), \quad B = B(Q, h, W), \quad q = Q/S = q(h, W),$$

где  $Q$  — расход ВВ на единицу длины выемки, кг/м;  $h$  — глубина зарядной траншеи, м;  $W$  — влажность грунта, %.

Проанализированы результаты крупномасштабных промышленных взрывов с глубиной зарядной траншеи  $h = 3$  м и массой заряда ВВ  $Q = 150$  кг/м на единицу длины. В качестве заряда ВВ использовался игданит, боевика — аммонит 6ЖВ. Взрывы проводили по общепринятой технологической схеме. Монолиты для лабораторных исследований отби-

Глубина отбора образцов, м	Удельный вес, т/м <sup>3</sup>	Объемный вес грунта, т/м <sup>3</sup>		Влажность, %	Пористость, %
		естественной влажности	сухой		
3,5	2,67	1,73	1,54	12,2	42,3
3,0	2,67	1,76	1,44	21,9	46,1
3,2	2,71	1,84	1,46	26,0	46,1
3,0	2,70	1,87	1,51	23,8	44,1
3,0	2,67	1,66	1,47	12,6	44,9
3,1	2,70	1,89	1,50	25,9	44,4

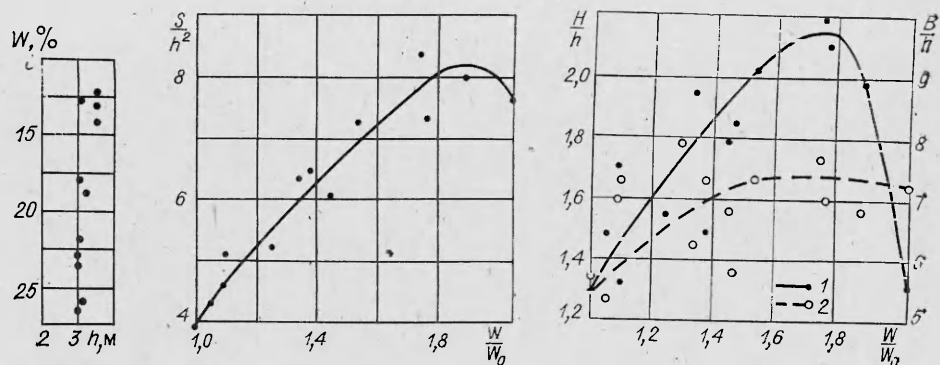


Рис. 1. Характер распределения влажности грунта на различных участках взрыва.

Рис. 2. Зависимость площади поперечного сечения выемки от влажности грунта.

Рис. 3. Зависимость видимой глубины  $H$  (1) и ширины  $B$  выемки (2) от влажности грунта.

рали по стандартной методике. Их откапывали со дна траншеи после ее проходки с углублением на 0,5—1,0 м и из стенок на уровне дна траншеи. В таблице приведены некоторые результаты лабораторных исследований (усредненные данные) свойств грунтов. Характер распределения влажности для различных участков взрывов представлен на рис. 1. Видно, что в месте проведения работ влажность грунта, измеренная на глубинах заложения заряда, изменяется в широком интервале (12—27%). Параметры  $H$ ,  $B$  и  $S$  вычисляли на основании результатов маркшейдерских съемок продольных и поперечных профилей выемок. Определяли также величину фактического удельного расхода  $ВВ q$ , т. е. отношение массы заряда  $Q$  к объему выброшенного грунта на единицу длины:  $q = Q/S$ .

На рис. 2 приведен график зависимости  $S = f(W)$  ( $S = S/h^2$ ,  $W = W/W_0$ ,  $W_0 = 12,2\%$  — минимальная влажность грунта в эксперименте). График показывает, что с увеличением влажности грунта площадь поперечного сечения выемки растет и достигает максимального значения при  $W = 20 \div 23\%$ . Зависимости линейных размеров выемки от влажности приведены на рис. 3. В целом разброс точек по сравнению с их разбросом для  $S = f(W)$  здесь большой. Это естественно, так как площадь поперечного сечения является интегральной характеристикой выемки, в то время как линейные размеры больше подвержены влиянию случайных факторов и, в частности, сильно зависят от связности грунта, влияющей на оползание бортов выемки. Поэтому, как отмечается и в

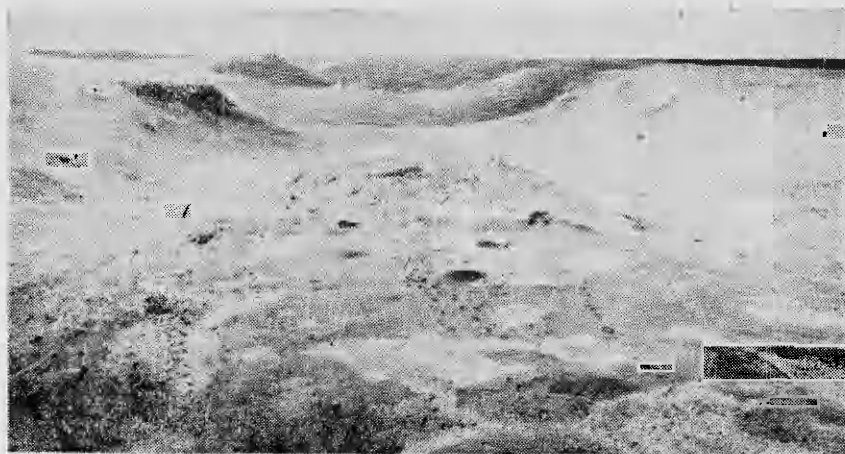
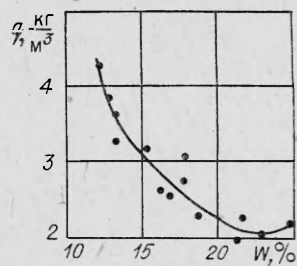


Рис. 4. Вспученная зона грунта, образовавшаяся в результате взрыва на выброс.  
140

Рис. 5. Связь между фактическим удельным расходом ВВ и влажностью грунта.



[4], при неизменной общей площади сечения глубина и ширина выемки могут изменяться в широких пределах. Однако характер распределения точек на рис. 3 таков, что можно сделать определенный вывод: линейные размеры выемки зависят от влажности грунтов и с ее увеличением возрастают, достигая максимума примерно при  $W = 20 \div 23\%$ . Как показывают эксперименты [5, 6], дальнейшее увеличение влажности ухудшает результаты взрывов на выброс из-за возникающих эффектов вспучивания и разжижения грунтов (рис. 4, 5).

Проанализируем полученные результаты с точки зрения распределения энергии ВВ в процессе развития взрыва по разным статьям расхода. Согласно [4], выемка выброса образуется за счет двух основных факторов: образования взрывной полости и собственно выброса грунта, т. е. в описываемом случае площадь поперечного сечения выемки (или объем на единицу длины) может быть представлена в виде суммы  $S = S_{\pi} + S_{\nu}$ , где  $S_{\pi}$  и  $S_{\nu}$  — составные части выемки, образованные соответственно за счет вытеснения (уплотнения) грунта и его выброса. В общем случае эффективность взрыва может возрастать за счет увеличения каждой из составных частей  $S_{\pi}$  и  $S_{\nu}$ .

Полученные результаты показывают, что в мягких грунтах изменение влажности приводит к изменению  $S_{\pi}$  и  $S_{\nu}$ , т. е. к увеличению радиуса взрывной полости на камуфлетной стадии и объема выбрасываемого грунта. Поскольку образование полости связано с вытеснением и объемным деформированием грунта, то затраты энергии взрыва на ее образование при осевой симметрии должны быть пропорциональны площади поперечного сечения заряда или образующейся цилиндрической полости и характерной удельной энергии объемного деформирования  $\epsilon_*$ , т. е.  $E_1 \sim \epsilon_* r_{\pi}^2$ , где  $E_1$  — часть энергии заряда ВВ, которая расходуется на вытеснение грунта и образование полости,  $r_{\pi}$  — радиус взрывной полости. Очевидно, что в однородных грунтах при  $E_1 = \text{const}$  и  $h = \text{const}$  увеличить радиус взрывной полости  $r_{\pi}$  (соответственно и  $S_{\pi}$ ) можно изменением свойств среды, т. е. уменьшением  $\epsilon_*$ . Выше отмечено, что на свойства грунтов существенное влияние оказывает влажность. Как следует из результатов исследований, приведенных в [3], удельная энергия объемного деформирования грунта с увеличением влажности грунтов уменьшается до некоторого минимального значения, затем начинает возрастать. Снижение величины  $\epsilon_*$  при  $E_1 = \text{const}$  равнозначно увеличению  $r_{\pi}$ .

Для суглинков минимальные затраты энергии, необходимые для объемного деформирования грунта до заданной величины, наблюдаются при  $W = 17,1 \div 22,8\%$ . Примечательно, что при взрывах на выброс в лессовидных суглинках минимальный фактический удельный расход ВВ соответствует  $W = 20 \div 23\%$  (см. рис. 5). Несомненно, что в данном случае эффективность взрыва возрастает, в частности, за счет увеличения радиуса взрывной полости. Подтверждением этому служит график на рис. 3. Действительно, чем больше грунт способен необратимо деформироваться, тем большими будут размеры взрывной полости (при  $E_1 = \text{const}$ ,  $h = \text{const}$ ), а следовательно, большей будет и видимая глубина выемки. Как видно из рис. 3, доля вытесненного и уплотненного грунта в общем объеме выемки выброса увеличивается с ростом влажности и достигает максимальных значений при  $W = 20 \div 23\%$ . Этот вывод подтверждается результатами исследованных взрывов.

Интересно отметить, что имеет место аналогичная зависимость и других механических показателей грунтов, ответственных за их сдвиговую деформируемость (условия пластичности, модуля сдвига и т. д.), от влажности [2, 7]. Она определяет такую же тенденцию влияния влаж-

ности на потери энергии на большие сдвиговые деформации в выбрасываемом объеме грунта, что приводит к аналогичной зависимости  $S_a(W)$ , четко просматриваемой на приведенных графиках. Отметим, что эффективность взрыва на выброс возрастает с ростом влажности до определенного значения  $W_*$ , оптимального для данного вида грунта. Дальнейшее ее увеличение ухудшает результаты взрывов на выброс — возникают эффекты вспучивания и разжижения грунтов. Более подробно указанные эффекты описаны в [8]. Такая немонотонность влияния влажности на результат взрыва может быть объяснена следующим образом. Вначале с увеличением влажности возрастают необратимые деформации грунта при одновременном уменьшении затрат энергии. Здесь влажность играет роль смазки между частицами грунта, облегчая их переукладку в процессе уплотнения и сдвига. Однако дальнейшее влагонасыщение приводит к существенному возрастанию упругой составляющей в общей деформации грунта. Необратимые деформации постепенно исчезают, а грунт приближается по свойствам к малосжимаемой среде, так как сжимаемость воды и минералов весьма мала, что приводит, в частности, и к падению эффективности взрыва на выброс.

Поступила в редакцию 28/V 1984

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Ромашов, В. Ф. Евменов, В. М. Чубаров. — В кн.: Использование взрыва в народном хозяйстве. Ч. 3. Киев: Наукова думка, 1970.
2. А. А. Вовк, А. Г. Смирнов, В. Г. Кравец. Динамика водонасыщенных грунтов. Киев: Наукова думка, 1975.
3. А. В. Михалюк. — В кн.: Взрывное дело, № 81/38. М.: Недра, 1979.
4. А. Н. Ромашов. Особенности действия крупных подземных взрывов. М.: Недра, 1980.
5. О. А. Арутюнов, С. С. Григорян, Р. З. Камалян. Гидротехника и мелиорация, 1981, 3.
6. Р. З. Камалян. — В кн.: Действие взрыва в грунтах и горных породах. Киев: Наукова думка, 1982.
7. С. С. Григорян. ПМТФ, 1962, 2.
8. О. А. Арутюнов, С. С. Григорян, Р. З. Камалян. Изв. АрмССР. Механика, 1981, 6.

### РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГАЗОВОЙ ДЕТОНАЦИИ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ СЕЧЕНИЯ ТРУБЫ И СОСТАВА СМЕСИ

А. А. Васильев

(Новосибирск)

Любое воздействие на самоподдерживающуюся детонационную волну — изменение сечения трубы, состава смеси, дополнительный подвод или отвод тепла и т. д. — приводит к неустановившемуся переходному режиму распространения. Результатом такого воздействия могут быть нестационарные пересжатие или затухание детонационной волны, а также в зависимости от степени воздействия формирование нового квазистационарного режима распространения.

В данной работе рассмотрен один из типов комплексного воздействия на детонационную волну: геометрическое за счет резкого расширения сечения трубы и химическое за счет изменения состава смеси. В отдельности геометрическое воздействие на детонационную волну для газов и жидких ВВ гомогенного состава в настоящее время хорошо известно (например, [1, 2]): при резком расширении диаметра  $d$  заряда — «переход» из трубки в объем (в дальнейшем выход) — квазиплоская детонационная волна затухает при  $d < d_{**}$  и трансформируется в сферическую при  $d \geq d_{**}$ . Диаметр заряда  $d_{**}$  называется критическим диаметром выхода.