

## О ВЛИЯНИИ СКОРОСТИ ДЕТОНАЦИИ ВВ И КОНСТРУКЦИИ ЗАРЯДА НА ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМО-ВЗРЫВНЫХ ВОЛН В ЛЕССЕ

Н. П. Горбачева

(Москва)

В работе приводятся результаты экспериментальных исследований, проводившихся с целью изучения влияния свойств взрывчатых веществ и конструкции заряда на формирование сейсмических волн при подземном взрыве.

Взрывы проводились в лессах Таджикистана на глубине 7 м. Использовались сосредоточенные заряды с обычным плотным расположением в грунте, а также заряды усложненных конструкций: заряды, помещенные в воздушную оболочку, и заряды в оболочке из сухого, рыхлого лесса. Эти конструкции получали путем предварительного прострелочного заряда, вес которого менялся от 0,1 до 20 кг, после чего в полученную полость помещался основной заряд фиксированного веса (5 или 20 кг). При этом в случае заряда с воздушной оболочкой скважина и полость вокруг основного заряда оставались пустыми, а в случае заряда с рыхлой грунтовой оболочкой полость и часть скважины засыпались сухим грунтом без трамбования.

В опытах регистрировались смещения грунта на дневной поверхности (сейсмоприемниками ВЭГИК с записью на осциллографы ПОБ-12 с гальванометрами ГВ-Ш) и был произведен обмер полостей, образованных как прострелочными, так и основными зарядами. В большинстве опытов использовался в качестве ВВ аммонит № 6. Кроме этого, в одной серии опытов были использованы ВВ с существенно различными скоростями детонации: угленит — 1800, аммонит — 3500, тротил — 7000 м/сек.

Взрывчатые вещества брались в равных по энергии количествах. Вес использованных зарядов в тротиловом эквиваленте составил: 2,4; 4,5 и 9 кг.

В опытах с нормальной конструкцией заряда скважины забивались грунтом. На рис. 1 в качестве примера показаны вертикальные разрезы свободных от грунта участков полостей, образованных взрывами зарядов весом 9 кг (в тротиловом эквиваленте) тротила (а), аммонита (б)

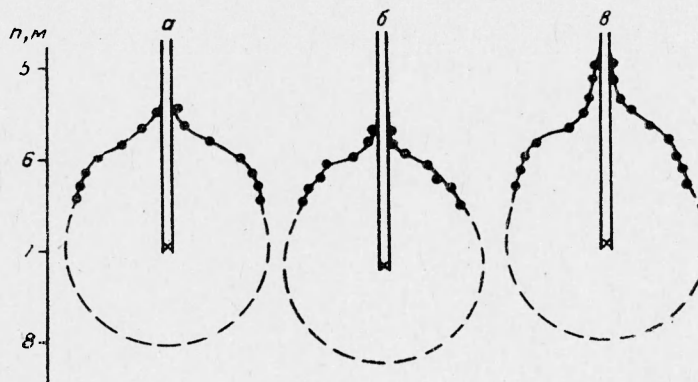


Рис. 1. Вертикальные разрезы полостей, образованных энергетически равными зарядами:

а) 9 кг тротила; б) 9 кг аммонита, в) 26 кг угленита.

и угленита ( $\theta$ ). Видно, что форма и размеры полостей получились одинаковыми для всех типов ВВ. На рисунках этого типа можно построить окружность с центром в месте расположения заряда и являющуюся «продолжением» экспериментально полученных обводов полостей (пунктир).

По результатам всех опытов были вычислены значения коэффициента  $K_k = \frac{r}{\sqrt[3]{q}}$ , где  $r_k$  — радиус «продолженной» полости, м;  $q$  — вес

эквивалентного по энергии тротилового заряда, кг. Оказалось, что эти значения примерно одинаковы для всех случаев и близки к числу  $0,5 \text{ м/кг}^{1/3}$ , т. е. к значению  $K_k$  для камуфлетной полости в лессе.

На рис. 2 показана зависимость максимальных смещений грунта в поверхностной волне Рэлея и в волне Р от приведенного расстояния  $\bar{r} = r/q^{1/3}$  для различных ВВ. Разница в скоростях взрывчатого превращения не повлияла на интенсивность и форму упругих волн. Максимальные смещения в продольных волнах Р определяются формулой:  $a_p^z = 10 \frac{q^{2/3}}{r^2}$  для  $10 \leq \bar{r} \leq 250$ . Интенсивности поверхностной волны Р

получились несколько различными: опытные точки группируются около прямых *a*, *б*, *в* (рис. 2), соответствующих различным приведенным глубинам заложения заряда  $\bar{h} = h/q^{1/3}$ , м/кг<sup>1/3</sup>. Максимальная интенсивность волн Рэлея наблюдается при взрыве заряда на глубине  $h = 2,2 \sqrt[3]{q}$ ; при этом на поверхности нередко образуется провальная воронка в виде шурфа. Значение этой глубины, которую можно назвать эффективной для генерирования поверхностных волн, близко к радиусу растрескивания  $r_{тр}$ , который примерно равен учетверенному радиусу камуфлетной полости [1].  $r_{тр} \approx 4 r_b \approx 2 \sqrt[3]{q}$ . Если величины  $a_{R}^z/q^{1/3}$  умножить на отношение  $\frac{\bar{h}}{h_{эф}} = \frac{h}{2,2 q^{1/3}}$ , то кривые *a*, *б*, *в* собираются в одну линию (рис. 3), уравнение которой можно аппроксимировать формулой  $\bar{a}_R^z \equiv \frac{a_R^z}{q^{1/3}} = \frac{10}{\bar{h} \bar{r}}$ , где  $\bar{h} = h/q^{1/3}$ ,  $\bar{r} = r/q^{1/3}$ .

Эта формула верна для следующих диапазонов изменения аргументов  $35 \leq \bar{r} \leq 400$ ;  $3,3 \leq \bar{h} \leq 5,3$ .

Полученные экспериментальные зависимости для волны Р хорошо согласуются с графиком зависимости смещений в поверхностной волне

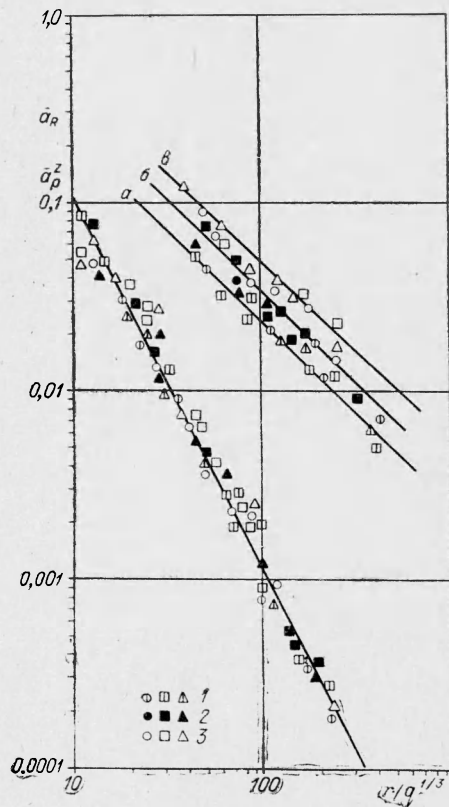


Рис. 2. Зависимость максимальных смещений грунта в волне Р и в поверхностной волне Рэлея от приведенного расстояния, возникающих при взрывах зарядов тротила  $\square$ , аммонита  $\blacksquare$ , угленита  $\triangle$  различного веса (в тротиловом эквиваленте) на соответствующей приведенной глубине  $\bar{h} = h/q^{1/3}$ .  
1 —  $q=2,4$  кг,  $h=5,3$ ; 2 —  $q=4,5$  кг,  $h=4,3$ ;  
3 —  $q=9,0$  кг,  $h=3,3$ .

от приведенного расстояния при взрывах в различных грунтах, приведенным в работе [3]. Действительно, если умножить приведенную амплитуду волны Рэлея (см. рис. 3) на скорость распространения продольной волны в лессе  $V_p = 500$  м/сек, как это делается в [3], то названные кривые сольются.

Перейдем к описанию результатов опытов при взрывах в полостях. В работе [2] отмечалось обнаруженное в эксперименте некоторое увеличение массовых скоростей в ближней зоне при взрывах в воздушных полостях по сравнению со взрывами сосредоточенного заряда для песчаного грунта. Этот эффект имел место при условии  $r_n \leq 10 r_0$ , где  $r_n$  и  $r_0$  — соответственно радиусы полости и заряда.

В работе [3] было отмечено существование оптимальной плотности заряжения для зарядов с воздушными оболочками, обеспечивающей максимальный объем вытесненного грунта. Пользуясь соответствующими формулами из работы [3], можно показать, что если начальная полость создается при помощи взрыва прострелочного заряда, то оптимальная плотность заряжения достигается при равенстве прострелочного и основного зарядов. При этом радиус полости, в которую помещают основной заряд, составит примерно  $9 r_0$  (радиусов заряда) для лесса. Другими словами, оптимальной плотности заряжения соответствует равенство радиуса полости радиусу камуфлета для этого же заряда. Это обстоятельство, видимо, связано с тем, что на расстоянии порядка  $8-15 r_0$  происходит отрыв ударной волны от продуктов взрыва при ее формировании в воздухе [4].

В наших опытах, как уже отмечалось выше, применялись заряды в воздушных полостях и заряды, помещенные в полости таких же размеров, но засыпанные сухим, рыхлым лессом. Если процесс распространения волн в воздушной полости заметно влияет на интенсивность сейсмических волн, то в случае полости с засыпкой сейсмический эффект должен быть меньше, ибо известно, что рыхлый грунт с большим количеством заземленного воздуха обладает наибольшей (среди грунтов) способностью поглощать энергию [5].

Опыт показал, что это влияние различно для разного типа сейсмических волн. На рис. 4, 5 представлены результаты соответствующих опытов. Здесь светлые точки относятся к взрывам в воздушных полостях, темные — в полостях, засыпанных рыхлым грунтом.

Прежде всего обращает на себя внимание независимость интенсивности продольной волны Р от свойств заполняющей полость среды, окружающей заряд (линии и точки, помеченные буквой *a*). Интенсивность же поверхностных волн R снижается с увеличением объема рыхлого грунта (рис. 4, *a, б*; рис. 5, *б, в*). Отметим, что интенсивности волн R приведены с учетом множителя  $\frac{h}{2,2 q^{1/3}}$ , т. е. влияние приведенной глубины заложения

исключено. Рассмотрение данных для взрывов в воздушных полостях показывает, что при оптимальной плотности заряжения наблюдается очень незначительное увеличение интенсивности волн R, которое по величине мало отличается от среднего разброса опытных данных (сравни данные *r* — плотное заряжение и *d* — оптимальное, рис. 5). При плотности заряжения больше оптимальной не наблюдается разницы в интенсивности волн R по сравнению с сосредоточенными взрывами (см. точки у линии *b* на рис. 4).

Влияние на интенсивность волн R засыпки полости рыхлым грунтом более заметное (см. рис. 4, *б, в*), и чем больше объем полости, засыпанной рыхлым грунтом, тем меньше интенсивность волны R (рис. 5, *б, в*).

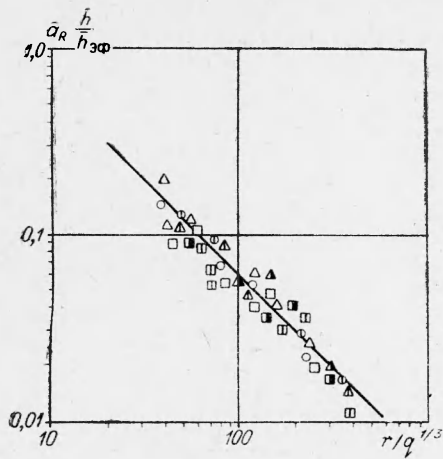


Рис. 3. Зависимость максимальных смещений в волне R, приведенных по глубине, от приведенного расстояния.

Рассмотрим теперь данные опытов о влиянии конструкции заряда и глубины его заложения на форму и размеры взрывной полости.

На рис. 6 приведены замеренные очертания верхних участков поверхностей взрывных полостей. В полостях, образованных прострелочными зарядами весом 1, 2 и 5 кг, были произведены взрывы заряда весом 5 кг. Перед взрывом полость засыпалась рыхлым грунтом. Видно, что форма и размеры верхних участков полостей при оптимальном или более плотном зарядании не зависят от величины прострелочного заряда, а радиусы этих полостей близки (в пределах разброса) к значениям радиусов камуфлетных полостей от сосредоточенных взрывов в том же грунте.

Таким образом, рассмотрение полостей приводит к заключению, что их радиусы практически не зависят от плотности зарядания, если радиус начальной прострелочной полости не превышает оптимального значения  $r_k$  и, следовательно, размеры полости также определяются в основном лишь энергией взрыва.

Таким образом, результаты проведенной работы позволяют сделать следующие выводы.

На параметры продольных волн при их формировании в исследованных лессах не влияют ни скорость детонации заряда, ни его конструкция (т. е. наличие вокруг заряда воздушной полости или слоя рыхлого грунта). Интенсивность этих волн определяется только энергией заряда и свойствами грунта [6]. Максимальные смещения в этих волнах определяются формулой:  $\bar{a}_R^z = 10 \frac{q^{1/3}}{r^2}$ ;  $10 \leq \frac{r}{q^{1/3}} \leq 250$ .

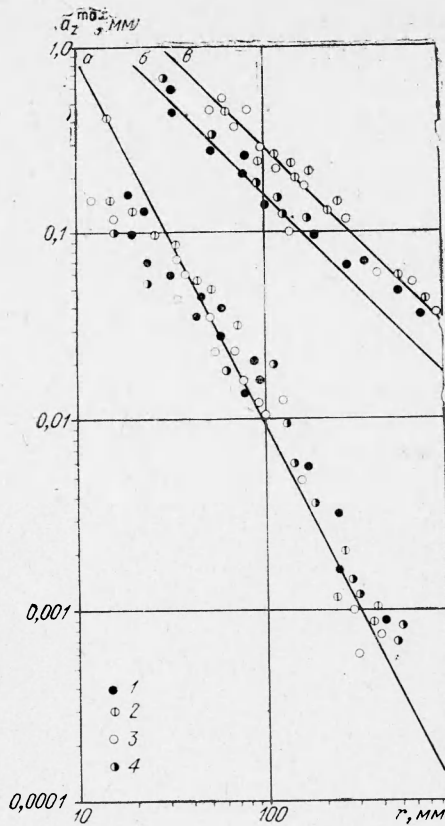
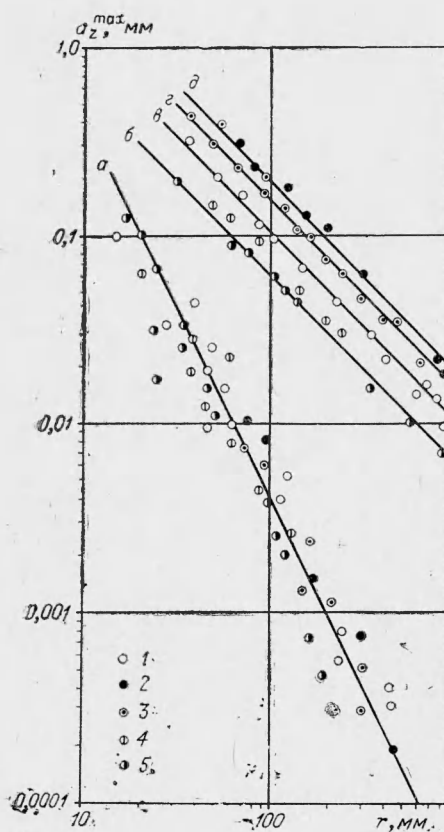


Рис. 4. Графики зависимости максимальной амплитуды смещения от эпицентрального расстояния в волнах P и R при взрывах в лессе заряда 20 кг: при плотном зарядании (1 — с забойкой; 2 — без забойки) и помещенном в полость, образованную прострелочным зарядом 5 кг (3 — без забойки, 4 — с забойкой сухим лессом).



Скорость детонации заряда не оказывает влияния на интенсивность поверхностных волн, получаемых при подземном взрыве в лессе. Определенное влияние оказывает глубина заложения заряда. Зависимость максимальных смещений в этих волнах от расстояния, глубины взрыва и его энергии определяется формулой:

$$a_R^z = \frac{10q}{hr}; \quad 35 \leq \frac{r}{q^{1/3}} \leq 400;$$

$$3,5 \leq \frac{h}{q^{1/3}} \leq 5,3.$$

Конструкция заряда оказывает некоторое влияние на параметры поверхностных волн — с увеличением объема рыхлой засыпки вокруг заряда интенсивность поверхностной волны несколько уменьшается.

Рис. 5. Графики зависимости  $a_z^{\max} = f(r)$  для волн Р и R при взрывах в лессе заряда 5 кг при плотном зарядании (1, 3) и помещенного в полости, образованные прострелочными зарядами: 2; 4— $q=5$  кг, 5— $q=20$  кг без забойки (2, 3) и с забойкой сухим грунтом (1; 4; 5).

Взрыв заряда в воздушной полости при оптимальном зарядании лишь незначительно увеличивает интенсивность поверхностных волн. Конструкция заряда слабо влияет на размеры взрывной полости в

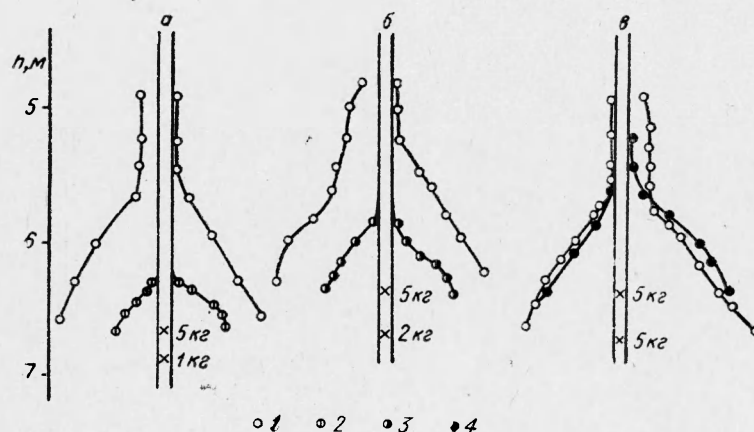


Рис. 6. Вертикальные разрезы полостей, образованных основным зарядом 5 кг (1), помещенным в полости от прострелочных зарядов в 1 (2), 2 (3) и 5 (4) кг, с забойкой сухим лессом.

лессе, которые в основном определяются энергией заряда и близки к размерам камуфлетной полости при плотном зарядании.

Автор приносит искреннюю благодарность С. С. Григоряну за постоянное руководство и ценные советы.

Поступила в редакцию  
9/VII 1970

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. И. Покровский. Взрыв. М., «Недра», 1967.
2. В. М. Цветков. ПМТФ, 1962, 5.
3. В. Н. Родионов. К вопросу о повышении эффективности взрыва в твердых средах. Изд-во ИГД им. А. А. Скочинского, 1962.
4. М. А. Садовский. Сб. «Физика взрыва», № 1, Изд-во АН СССР, 1952.
5. С. С. Григорян. ПМТФ, 1962, 2.
6. Н. П. Горбачева. ФГВ, 1970, 6, 4.
7. Б. Г. Рулев. Сб. «Взрывное дело», № 64/21. «Недра», 1968.

УДК 662.215.1

### ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТЬ В ЗОНЕ ДЕТОНАЦИИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ

*П. И. Зубков, Л. А. Лукьянчиков, Б. С. Новоселов*  
(Новосибирск)

Известно [1], что при детонации конденсированных ВВ возникает зона относительно высокой электропроводимости. Причиной возникновения зоны электропроводимости могут являться: термическая ионизация, химическая реакция и высокие плотности, развиваемые в детонационной волне. Выявить отдельно влияние каждого из указанных явлений на основании известного не представляется возможным, так как для этого необходимо знать характер носителей и распределение проводимости в области детонационной волны.

В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по определению распределения проводимости в зоне детонации. Измерения проводились при детонации порошкового тэна плотности  $1,1 \text{ г/см}^3$  и гексогена плотности  $1,2 \text{ г/см}^3$ .

**Схема измерений.** Распределение электропроводимости и ее величина могут быть определены в том случае, если известны распределение электрического поля и конфигурация детонационной волны. Электрическое поле в экспериментах задавалось зарядами на обкладках плоского конденсатора, как показано на рис. 1. Предполагая диэлектрическую постоянную продуктов детонации и заряда ВВ близкой к единице, что, как будет видно ниже, оправдано, можно считать поле внутри конденсатора созданным зарядами на обкладках. Кроме того, так как проводимость стальных обкладок ( $\sim 10^5 \text{ 1/ом}\cdot\text{см}$ ) много больше проводимости, возникающей в зоне детонации ( $\sim 0,10 \text{ 1/ом}\cdot\text{см}$ ) [1], можно пренебречь временем достижения стационарных условий в пространстве