

**РАЗВИТИЕ КОТЛОВОЙ ПОЛОСТИ ПРИ ВЗРЫВЕ
В ПЕСЧАНОМ ГРУНТЕ**

О. С. Колков, А. М. Тихомиров, А. Ф. Шацкевич
(Москва)

ПОСТАНОВКА ОПЫТОВ

Опыты проводились в сухом речном песке объемной плотностью $1,55 \text{ г/см}^3$ и размером частиц $0,2 \div 0,5 \text{ мм}$. Утрамбовка песка при засыпке не производилась («насыпной» песок). Песок помещался в цилиндр диаметром 400 мм и высотой 600 мм . Взрывы проводились как в центре рабочего объема, так и на дне бассейна, на массивной латунной плите. В последнем случае заряду приписывался удвоенный вес. Полученные результаты подтверждают справедливость такого допущения.

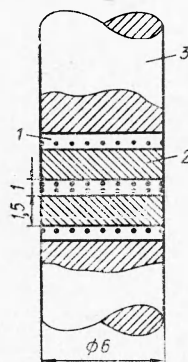
Для выяснения влияния механических свойств грунта на развитие котловой плотности была проведена также серия опытов в «упрочненном» песке. Весь объем помещался в тонкую резиновую оболочку, из которой откачивался воздух. Полученная таким образом среда представляет собой некоторое приближение к твердому телу и обладает прочностью на разрыв около 1 кг/см^2 .

В опытах использовались прессованные заряды ТЭНа сферической формы, плотностью $1,4 \text{ г/см}^3$ и удельной теплотой взрыва 1400 ккал/кг . Инициирование осуществлялось путем пропускания электрического импульса через вмонтированную в заряд проволоку. Энергия, выделявшаяся при перегорании проволоки, много меньше энергии взрыва. В изложении результатов эксперимента используются приведенные радиус котловой полости $r^0 = r/C^{1/3}$ и время $t^0 = t/C^{1/3}$. Здесь r — радиус котловой полости, m ; t — время, отсчитываемое от момента взрыва, $сек$; C — вес заряда в килограммах в пересчете на ТНТ с удельной теплотой взрыва 1000 ккал/кг . Регистрация проводилась на камуфлетной стадии, т. е. до прихода волн, отраженных от свободной поверхности и стен бассейна.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В опытах применялся датчик (рис. 1), состоящий из двойной катушки 1 с медным проводом диаметром $0,1 \div 0,2 \text{ мм}$, намотанным на ферритовых сердечниках 2. Датчики (3—4 штуки) помещаются в отверстия стержня 3 из нержавеющей стали так, чтобы торцы сердечников были свободны, и фиксируются эпоксидной смолой. Стержень с датчиками жестко закрепляется на определенном расстоянии от заряда. Каждый датчик включается как индуктивность в параллельный

резонансный контур (рис. 2), питаемый звуковым генератором на частоте 150—200 кГц. Контур настраивается на резонанс при отсутствии песка вокруг датчиков. Затем весь рабочий объем заполняется песком, причем в зоне датчики — заряд песок смешивается с мелкой ферритовой крошкой. При этом индуктивность датчика возрастает, контур выходит из резонанса, и его полное сопротивление падает. Зависимость индуктивности одного из использованных датчиков от объемной концентрации q ферритовой крошки в песке у его торцов приведена ниже:



$q, \%$	0	10	30	50
$L, \text{мкГн}$	74	78	89	99

Рис. 1. Схематический чертеж датчика.

Запуск осциллографа, регистрирующего напряжение на сопротивлении R_3 , синхронизируется со взрывом. Осциллограмма (рис. 3) до момента прихода к датчику границы котловой полости представляет

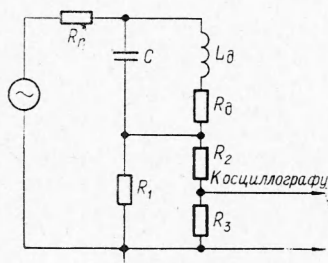


Рис. 3. Копия осциллограммы.

Рис. 2. Схема измерительной цепи.

собой синусоиду постоянной амплитуды (на рис. 3 несущая частота не изображена). При прохождении мимо датчика границы котловой полости его индуктивность уменьшается, и амплитуда на осциллографе падает до резонансного значения. Схема проведения опытов приведена на рис. 4.

Разрешение регистрирующей системы во времени определяется несущей частотой и составляет 5—7 мксек, что много меньше времени прохождения границы полости мимо датчика. Специальная градуировка датчиков показала, что индуктивность начинает изменяться только тогда, когда граница ферритовой смеси приближается к торцу датчика на расстояние около 0,5 мм.

Плотность грунта при распространении взрывной волны изменяется, что влечет за собой изменение количества феррита в единице объема вокруг датчика и, следовательно, его индуктивности. Этот факт может быть использован для непосредственного измерения плотности

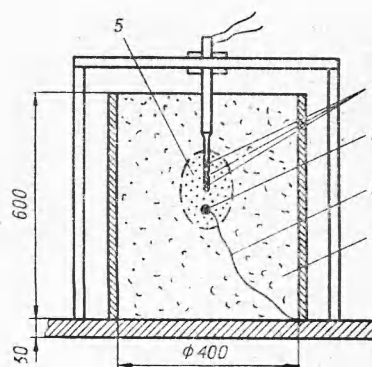


Рис. 4. Схема проведения опытов.
1 — датчики; 2 — заряд ВВ; 3 — кабель подрыва заряда; 4 — грунт; 5 — смесь грунта с ферритовой крошкой.

грунта при взрыве, что, однако, выходит за рамки данной работы. В описываемых опытах характеристики контуров выбирались таким образом, чтобы изменения плотности грунта практически не регистрировались (см. рис. 3).

В опытах использовалась смесь ферритовой крошки с песком при объемной концентрации феррита от 10 до 50%. Повторяемость результатов при различной концентрации позволяет полагать, что внесение в грунт ферритовой крошки не влияет на расширение котловой полости.

Для регистрации были применены осциллографы (ИХФ АН СССР), работавшие в режиме механической развертки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

«Насыпной» песок. Зависимость радиус — время для котловой полости при взрыве в «насыпном» песке приведена на рис. 5. Обе серии опытов достаточно хорошо согласуются между собой. Кривая проведена по степенному закону:

$$r^{\circ} = 1,54 (t^{\circ})^{0,29},$$

$$1,0 \cdot 10^{-3} \leq t^{\circ} \leq 1,4 \cdot 10^{-2}. \tag{1}$$

Среднее квадратичное отклонение экспериментальных точек от кривой составляет 8%. Как следует из графика, конечный радиус полости достигает, вероятно, величины около 10 радиусов заряда.

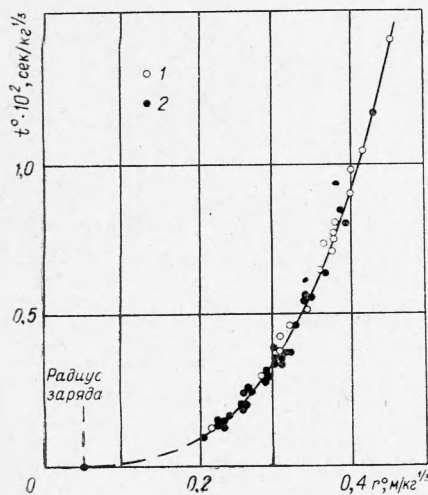


Рис. 5. Зависимость радиус — время для котловой полости при взрыве в «насыпном» песке.

1 — взрыв в центре рабочего объема ($C=3,5 \cdot 10^{-3}$ кг); 2 — взрыв на дне бассейна ($C=7,0 \cdot 10^{-3}$ кг).

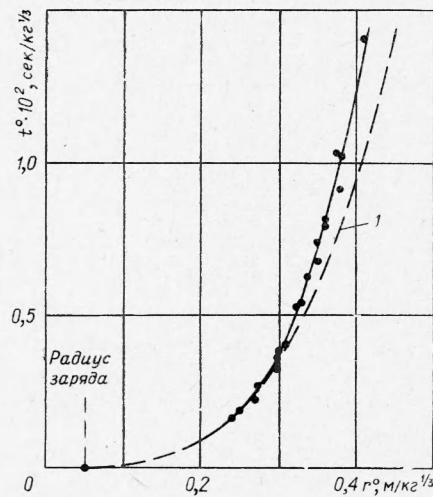


Рис. 6. Зависимость радиус — время для котловой полости при взрыве в «упрочненном» песке.

1 — «насыпной» песок.

Дифференцирование зависимости (1) по времени дает закон изменения скорости границы полости:

$$U = 0,446 (t^{\circ})^{-0,71} \text{ м/сек.} \tag{2}$$

«Упрочненный» песок. Зависимость радиус — время для котловой полости при взрыве в «упрочненном» песке приведена на рис. 6. Для оценки давления в полости, при котором появляется различие в законах расширения полости для «насыпного» и «упрочненного» песка,

$\rho^2, \text{м/кг}^{1/2}$	Песок	
	«насыпной»	«упрочненный»
	$I, \text{м/сек}$	
0,24	37,0	37,0
0,30	22,9	19,0
0,35	13,9	11,3
0,38	12,9	9,5

было использовано уравнение состояния продуктов гексогена [1], вещества, наиболее близкого к ТЭНу по своим характеристикам и составу продуктов взрывчатого превращения. Такая оценка дает величину давления около 10 атм.

Величины скорости перемещения границы котловой полости, полученные графическим дифференцированием, приведены в таблице.

ВЫВОДЫ

1. Описана методика, позволяющая регистрировать движение границы котловой полости при взрыве в слабосвязанном грунте. Методика применима как в случае симметричного (камуфлет), так и несимметричного развития полости (выброс).

2. Получены зависимости радиус — время для котловой полости при камуфлетном взрыве в «насыпном» и «упрочненном» песчаном грунте. Показано, что различие в законах расширения полости в этих грунтах проявляется при давлении в котловой полости около 10 атм, что соизмеримо с величиной статического давления в «упрочненном» грунте (1 атм).

3. Используемая в работе методика при соответствующем выборе параметров измерительной цепи может быть использована для непосредственной регистрации изменения плотности грунта при взрыве.

Поступила в редакцию
29/V 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. М. Кузнецов, К. К. Шведов. ФГВ, 1967, 3, 2.