

6. Сравнение результатов расчета с опытными данными (фиг. 2) показывает их удовлетворительное согласие. Несколько заниженные значения экспериментальных данных в алюминии (~5—10%) на больших расстояниях от заряда, возможно, связаны с действием упругой разгрузки. Однако погрешности расчета, связанные с упрощением вида уравнения состояния продуктов взрыва, не позволяют делать уверенные заключения по этому поводу. С необходимой для практических приложений точностью в исследованном диапазоне относительных давлений $0.09 \leq p/\rho_0 a^2 \leq 0.45$, значительно превосходящих динамический предел текучести σ исследованных металлов ($p \gg \ll 10\sigma$), гидродинамическое приближение пригодно не только для описания поведения вещества при ударном нагружении, но и в области разгрузки.

Поступила 26 IV 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшулер Л. В. Применение ударных волн в физике высоких давлений. Успехи физ. наук, 1965, т. 85, № 2.
2. Станюкович К. П. Неустановившиеся движения сплошной среды. М., Гостехиздат, 1955.
3. Dugimend W. E. Explosive induced Shock waves. J. Appl. Phys., 1957, vol. 28, No. 12.
4. Калмыков А. А., Кондратьев В. Н., Немчинов И. В. О разлете мгновенно нагретого вещества и об определении его уравнения состояния по величине давления и импульса. ПМТФ, 1966, № 5.
5. Корявов В. П. Приближенное уравнение состояния твердых тел. ПМТФ, 1964, № 3.
6. Кузнецов Н. М. Уравнение состояния и теплоемкость воды в широком диапазоне термодинамических параметров. ПМТФ, 1961, № 1.
7. Курант Р., Фридрихс К. Сверхзвуковое течение и ударные волны. М., Изд-во иностр. лит., 1950.
8. Katz S., Dorgan D., Carran D. Equation of State from Oblique Shock Studies. J. Appl. Phys., 1959, vol. 30, No. 4.
9. Динамические исследования твердых тел при высоких давлениях. М., «Мир», 1965.
10. Зубарева В. Н. Движение продуктов взрыва за фронтом детонационной волны. ПМТФ, 1962, № 2.

НЕКОТОРЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ПАРАМЕТРАХ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ В ГРУНТАХ ПРИ ПОДЗЕМНОМ И КОНТАКТНОМ ВЗРЫВАХ

В. Д. Алексеенко, Г. В. Рыков

(Москва)

Сопоставляются экспериментальные данные о параметрах волн напряжений в песчаных и глинистых грунтах при взрывах тротильных зарядов весом от 0.2 кг до 200 кг.

1. В работе [1] показано, что в окрестности оси симметрии при $\alpha \leq 30^\circ$ (угол α отсчитывается от оси симметрии) поле напряжений при контактном взрыве сохраняет качественные особенности центрально симметричного поля напряжений, возникающего при подземном взрыве, причем при контактном взрыве на возбуждение волн напряжений в грунте расходуется только некоторая часть энергии E_0 от полной энергии взрыва заряда ВВ E . Поэтому параметры волны при контактном взрыве в области, близкой к оси симметрии, могут быть вычислены по данным о параметрах волн при подземном взрыве, если в последних учесть долю энергии ВВ E_0 . Для проверки этих соображений был проведен ряд экспериментальных исследований параметров волн при контактном и подземном взрывах в одних и тех же грунтах — песчаных и глинистых. Методика этих исследований описана в [1-3]. Для определения максимальных радиальных напряжений σ_r^m , удельных импульсов I_r и времени действия τ при подземных взрывах были получены следующие эмпирические формулы: (1.1)

$$\sigma_r^m(R) = K_1 R^{-\mu_1} \text{ кг/см}^2, \quad I_r^\circ(R) = K_2 R^{-\mu_2} \text{ кг}^{2/3} \text{ сек/см}^2, \quad \tau_r^\circ(R) = a + \eta R \text{ сек/кг}^{1/3}$$

$$R = r / r_0, \quad r_0 = 0.054 C^{1/3}, \quad I_r^\circ = I / C^{1/3}, \quad \tau^\circ = \tau / C^{1/3} \cdot 10^3$$

Здесь r — расстояние от центра взрыва в м; r_0 — радиус заряда в м; C — вес заряда ВВ в кг; I_r° и τ° — удельный импульс и полное время действия, отнесенные к масштабу явления; $K_1, K_2, \mu_1, \mu_2, a, \eta$ — опытные коэффициенты, зависящие от свойств грунта.

	K_1	μ_1	K_2	μ_2	a	η	λ
(1)	$11.5 \cdot 10^3$	2.36	4.85	1.53	17.5	0.57	0.35
(2)	$42.6 \cdot 10^3$	2.81	—	—	—	—	0.33
(3)	$2.8 \cdot 10^6$	3.45	525	2.73	8.8	0.09	0.23

Здесь строка (1) относится к песчаному грунту с объемным весом скелета $\gamma_0 = 1.50-1.52 \text{ г/см}^3$ и весовой влажностью $\omega = 10-12\%$; строка (2) — к суглинку с $\gamma_0 = 1.65-1.70 \text{ г/см}^3$, $\omega = 10-15\%$; строка (3) — к глине с $\gamma_0 = 1.70-1.75 \text{ г/см}^3$, $\omega = 20-22\%$.

Параметры волн при контактном взрыве при $\alpha \leq 30^\circ$ могут быть определены по формулам (1.1) если в них вместо веса заряда C подставить величину

$$C = \lambda C_0, \quad \lambda = E_0 / E \quad (1.2)$$

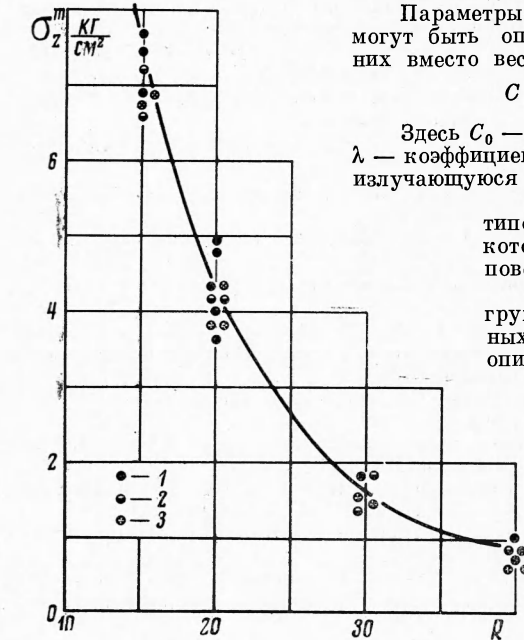
Здесь C_0 — вес заряда ВВ при контактном взрыве, λ — коэффициент, характеризующий долю энергии, излучающуюся в грунте при контактном взрыве.

Значения величины λ для указанных типов грунтов при взрывах зарядов, центр которых находится на уровне свободной поверхности, приведены ранее.

Определение величин λ для различных грунтов методом засечек фронтов воздушных ударных волн контактного взрыва описано в [1].

На фиг. 1—3 приведены кривые $\sigma_z^m(R)$, $I_z^\circ(R)$ и $\tau^\circ(R)$ для контактного взрыва, построенные по формулам (1.1) с учетом соотношений (1.2) для песчаного грунта (1).

Различными точками на фиг. 1—3 показаны опытные данные, полученные в независимых опытах при контактных взрывах в том же грунте при $\alpha = 0^\circ$ (точки 1), $\alpha = 15^\circ$ (точки 2) и $\alpha = 30^\circ$ (точки 3). Рассмотрение данных фиг. 1—3 свидетельствует о достаточно хорошем совпадении кривых, рассчитанных по формулам (1.1) — (1.2), с соответствующими опытными данными. Некоторая



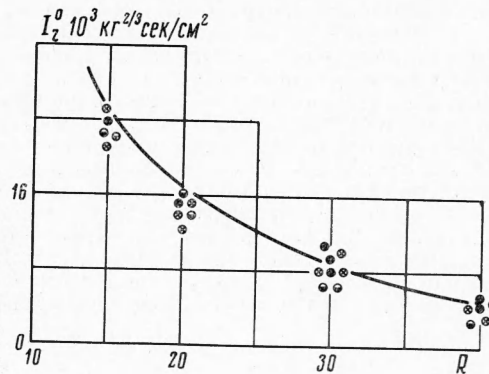
Фиг. 1

разница при определении времени действия τ° объясняется тем, что конец волны сжатия не всегда может быть точно определен из-за различной чувствительности датчиков. Однако, как это видно из фиг. 2, на величины удельного импульса I_z° это практически не сказывается, поскольку напряжения в конце действия волны малы.

Аналогичные результаты были получены в суглинках и глинах. На фиг. 4 представлены, в частности, данные по напряжениям, вычисленные по формулам (1.1), (1.2) для суглинков (2) (кривая 2) и глин (3) (кривая 1), а также экспериментальные данные, полученные при $\alpha = 0^\circ$.

Таким образом, если известна доля энергии, излучающаяся в грунт при контактном взрыве и параметры волны $\sigma_z^m(R)$, $I_z^\circ(R)$, $\tau^\circ(R)$ при подземном взрыве, то соответствующие параметры волн напряжений в осевой области контактного взрыва могут быть определены по формулам (1.1) с введением параметра λ согласно (1.2). Наоборот, если из эксперимента известны зависимости, описывающие параметры волн напряжений при контактном взрыве в окрестности оси симметрии, то, умножив в этих зависимостях величину заряда C на коэффициент $1/\lambda$, можно получить параметры волн подземного взрыва для тех же грунтов.

2. Изложенные данные позволяют также определить распределение энергии при контактном взрыве в случае, когда заряд располагается так, что его поверхность располагается на уровне поверхности грунта и метод засечек фронтов [1] оказывается неприменимым. На фиг. 5 приведены годографы фронта воздушной ударной волны при различных положениях центра заряда относительно поверхности суглинистого грунта (2). Кривая 1 относится к случаю, когда заряд располагается непосредственно на сво-

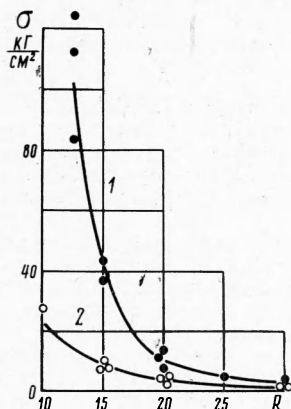


Фиг. 2

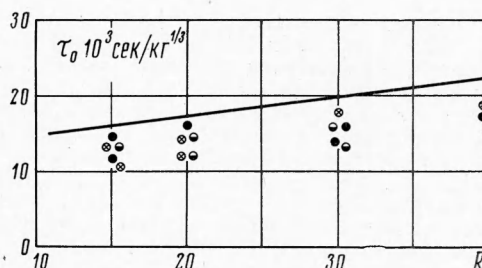
бодной поверхности, кривая 2, когда центр заряда совпадает с поверхностью, кривая 3, когда центр заряда располагается на глубине радиуса заряда от поверхности. Как видно из фиг. 5, кривая 3 проходит существенно выше кривых 1, 2. Определенная по кривой 3 (фиг. 5) согласно [1] величина λ равна 0.97, что физически почти эквивалентно камуфлетному взрыву при глубине заложения центра заряда $H_0 = 30-40 r_0$ и не соответствует действительности. Последнее обстоятельство связано с тем, что при взрыве такого заряда окружающий его грунт образует возле очага круговой «воронник». В связи с этим возникающая воздушная ударная волна в начальный момент времени распространяется преимущественно вверх, принимая форму полуэллипсоида вращения с большой осью, направленной нормально к поверхности. В дальнейшем форма фронта воздушной ударной волны становится полусферической, и волна распространяется вдоль свободной поверхности по обычным законам. Однако особенности начального этапа движения сказываются вплоть до $R = 50$. Поэтому предлагается для таких случаев другой метод определения величины λ .

Из изложенного следует, что максимальные радиальные напряжения $\sigma_r^m(R)$ при подземном взрыве и максимальные главные нормальные напряжения $\sigma_z^m(R)$ в окрестности оси симметрии при контактном взрыве определяются формулами

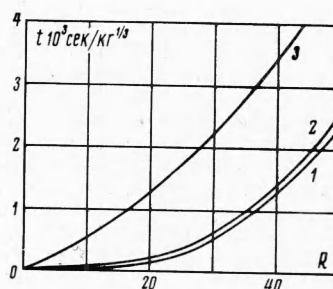
$$\sigma_r^m(R) = K_1 R^{-\mu_1}, \quad \sigma_z^m(R) = K_1 R^{-\mu_1} \lambda^{1/3 \mu_1} \quad (2.1)$$



Фиг. 4



Фиг. 3



Фиг. 5

Разделив (2.1) на (2.2) и решая получившееся выражение, находим

$$\lambda = \left[\frac{\sigma_z^m(R)}{\sigma_r^m(R)} \right]^{3/\mu_1} \quad (2.2)$$

Таким образом, при экспериментальном определении доли энергии, излучающейся в грунт при контактном взрыве, необходимо измерить напряжения $\sigma_z^m(R)$, $\sigma_r^m(R)$, а также определить коэффициент μ_1 . Определенная таким способом величина λ для суглинка для рассмотренного случая, когда центр заряда располагается на глубине одного радиуса заряда $H_0 = r_0$ оказалась равной $\lambda = 0.56$. Аналогичным образом был определен коэффициент λ для глин (3).

Поступила 20 XI 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В. Д. Экспериментальное исследование динамического поля напряжений в мягком грунте при контактном взрыве. ПМТФ, 1963, № 5.
2. Рыков Г. В. Экспериментальное исследование поля поражений при взрыве в песчаном грунте. ПМТФ, 1964, № 1.
3. Рыков Г. В. Экспериментальные исследования сжимаемости глинистых грунтов при подземных взрывах. ПМТФ, 1968, № 2.