

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ ВОЛН ПРИ ВЗРЫВАХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЗАРЯДОВ В СУГЛИНКЕ

А. А. Вовк, В. И. Кононенко, И. А. Лучко, В. А. Плаксий

(Киев)

Приведены результаты экспериментальных исследований параметров ударных волн при взрывах цилиндрических горизонтальных зарядов на выброс в суглинке. Показано влияние глубины заложения заряда на параметры ударных волн.

Результаты экспериментальных исследований параметров взрывных волн относятся главным образом к действию сосредоточенного [1-7] или, в отдельных случаях [7], вертикального цилиндрического зарядов камуфлетного действия.

Пусть d — диаметр частиц в мм, q — содержание частиц в процентах, γ_0 — объемный вес грунта в г/см³, ω — весовая влажность грунта в процентах, H — глубина заложения заряда в м, C — вес погонного метра заряда ВВ в кг, R — расстояние от оси заряда в м.

В данной ниже работе приводятся результаты исследований параметров цилиндрических взрывных волн с учетом влияния свободной поверхности в суглинке следующего гранулометрического состава

$d, \text{ мм} = \begin{cases} \text{от} & 1 & 0.5 & 0.25 & 0.05 & 0.01 & 0.005 \\ \text{до} & 0.5 & 0.25 & 0.15 & 0.01 & 0.005 & < \end{cases}$
$q, \% = \begin{matrix} & 0.9 & 21.8 & 16.2 & 49.1 & 1.7 & 10.5 \end{matrix}$

Изменение объемного веса и весовой влажности с глубиной представлено ниже

$H, \text{ м} = 0.10$	0.20	0.40	1.00	1.30
$\gamma_0, \text{ г/см}^3 = 1.94$	1.95	1.96	2.07	2.12
$\omega, \% = 14,30$	14.55	15.60	13.70	18.00

Непосредственно из экспериментов определялись следующие параметры взрывной волны: радиальные σ_r , тангенциальные σ_α и осевые σ_z напряжения, скорости v смещения частиц грунта, скорости D_m распространения максимальных напряжений.

Датчики для замера напряжений и скоростей частиц грунта устанавливались на одной глубине с зарядом в различных точках линии, перпендикулярной оси заряда и разделяющей длину заряда пополам. Опускались они в выбуренные скважины диаметром 130 мм и ориентировались соответствующим образом по отношению к заряду, после этого скважины засыпались вынутым ранее грунтом с послойным трамбованием грунта до естественной плотности.

Напряжения $\sigma_r, \sigma_\alpha, \sigma_z$ как функции времени измерялись высокочастотными тензометрическими датчиками, сигналы с которых через усилитель УТС-1-12 записывались на шлейфном осциллографе Н-700. Датчик скорости представляет собой соленоид в металлическом корпусе, внутри которого свободно перемещается постоянный магнит цилиндрической формы. Более подробно о конструкции примененных датчиков написано в работе [4].

Применяя к экспериментальным значениям параметров взрывной волны условия совместности на фронте ударной волны (в исследованном диапазоне расстояний взрывная волна предполагается ударной), определяем объемную деформацию грунта как функцию от расстояния и диаграмму объемного сжатия грунта. Знание объемной деформации и диаграммы объемного сжатия грунта позволит определять зону уплотнения и величину динамической нагрузки, необходимую для достижения соответствующего уплотнения. Приводим данные для характеристик экспериментов

$C, \text{ кг/м} = 1$	1	1	1	1	2	2	2	2	2
$H, \text{ м} = 0.56$	0.35	0.85	0.21	0.70	0.70	0.50	1.00	1.20	0.30

где C — вес погонного метра ВВ в кг, H — глубина заложения заряда в м.

Разброс экспериментальных данных при подобных исследованиях неизбежен. Это вызвано в основном условиями установки датчиков. Обработка результатов экспериментов производилась методом наименьших квадратов.

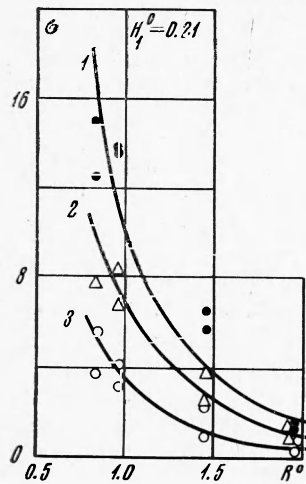
В результате исследований установлено, что зависимости напряжений, скоростей частиц грунта, скоростей максимальных напряжений от относительных расстояний имеют степенной характер

$$y = kR^{0.15}, y = \sigma_r, \sigma_\alpha, \sigma_z, v, R^0 = RC^{-1/2} \quad (1)$$

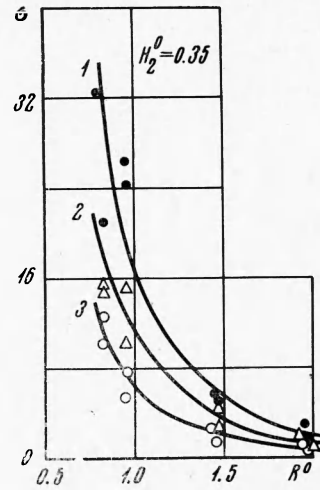
Здесь R — расстояние от оси заряда в м. Значения параметров k и μ приведены в таблице.

	k_1	$-\mu_1$	k_2	$-\mu_2$	k_3	$-\mu_3$	k_4	$-\mu_4$
(σ_r)	10.74	2.68	19.53	3.36	14.05	3.00	23.09	3.17
(σ_α)	3.44	2.58	6.89	3.00	6.69	2.66	7.03	2.24
(σ_z)	6.37	2.58	11.00	3.09	10.74	2.68	16.18	2.84
(v)	2.71	1.02	—	—	2.91	1.23	5.43	1.40
(H_i°)	0.21		0.35		0.70		0.84	

Значения параметров в первой строке относятся к σ_r , во второй — к σ_α , в третьей — к σ_z и в четвертой — к v , в пятой строке приведены значения относительной глубины заложения заряда $H_2^\circ = HC^{-1/2}$, соответствующие парам значений k и μ .

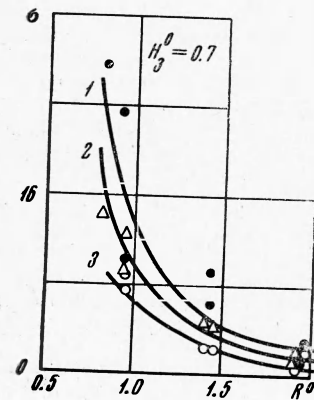


Фиг. 1

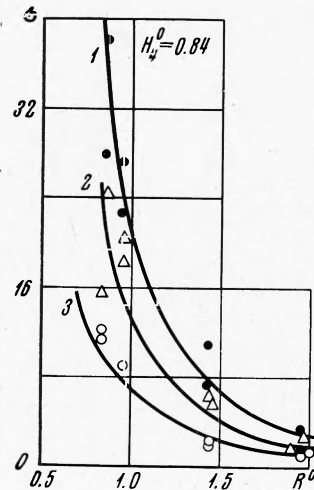


Фиг. 2

На фиг. 1, 2, 3, 4 представлены зависимости радиальных (кривые 1), осевых (кривые 2) и тангенциальных (кривые 3) напряжений kg/cm^2 от относительного расстояния при постоянной относительной глубине заложения заряда.



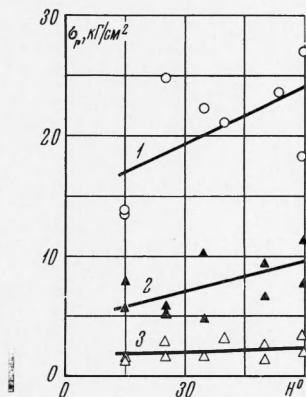
Фиг. 3



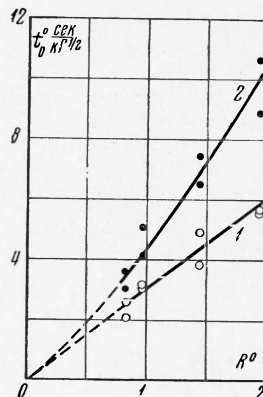
Фиг. 4

Для σ_r , σ_α , σ_z качественная зависимость от R^0 и H^0 одинакова, поэтому для сокращения объема работы остановимся на анализе радиальных напряжений. Из рассмот-

рения кривых видно, что радиальные напряжения резко убывают для значений $R^\circ \leq 1.47 \text{ м/кг}^{1/2}$, что свидетельствует о значительных потерях энергии взрывной волны в этой области главным образом за счет уплотнения грунта, а также пластических деформаций и нагрева грунта. В области $R^\circ \geq 1.47$ происходит постепенное вырождение ударной волны в волну сжатия и последней — в упругую.



Фиг. 5



Фиг. 6

На фиг. 5 приведены графические зависимости радиального напряжения от относительной глубины заложения заряда. Кривые 1, 2, 3 соответствуют значениям относительного расстояния 0.98, 1.47, 1.96 $\text{м/кг}^{1/2}$.

Аналитически эти кривые могут быть аппроксимированы следующими выражениями:

$$\sigma_r = 0.276 H^\circ + 9.08 \text{ при } R_1^\circ = 0.98 \quad (2)$$

$$\sigma_r = 0.084 H^\circ + 4.58 \text{ при } R_2^\circ = 1.47 \quad (3)$$

$$\sigma_r = 0.020 H^\circ + 1.42 \text{ при } R_3^\circ = 1.96 \quad (4)$$

Здесь $H^\circ = H / r_3$, $r_3 = 0.014 C^{1/2}$, r_3 — радиус заряда.

Как видно из графиков, на всех исследованных относительных расстояниях имеет место тенденция к увеличению напряжений с увеличением глубины заложения заряда. Это свидетельствует о том, что исследован только тот диапазон заглублений $H^\circ < H^\circ_*$, при котором камуфлетность взрыва не проявляется. Угол наклона прямых к оси H° тем больше, чем меньше расстояние R° . На такой характер зависимости напряжений от H° и от R° основное влияние оказывает распределение энергии взрыва по направлению к свободной поверхности и в глубь грунтового массива. Для более близких к заряду точек такое влияние особенно существенно, в области $R^\circ > 1.96$ распространяется упругая волна, энергия которой составляет постоянную часть энергии взрыва, и поэтому в этой области влиянием глубины заложения заряда на параметры взрывной волны можно пренебречь.

Зависимости времени t_0 распространения начала возмущений (кривая 1) и времени t_m распространения максимальных напряжений (кривая 2) от относительного расстояния приведены на фиг. 6.

Соответствующие уравнения кривых имеют вид

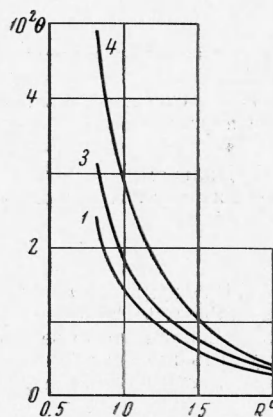
$$t_0^\circ = 10^3 t_0 / C^{1/2} = 3.06 (R^\circ - 0.014), \quad t_m^\circ = 10^3 t_m / C^{1/2} = 4.54 (R^\circ - 0.014)^{1.19} \quad (5)$$

где t_0 и t_m в мсек.

Дифференцируя по t формулы (5), определяем скорость распространения возмущений и максимальных напряжений соответственно

$$D_0 = 326.80 \text{ м/сек}, \quad D_m = 185.20 (R^\circ - 0.014)^{-0.19} \quad (6)$$

Из условия совместности на фронте ударной волны [2], используя формулу (6) для D_m и необходимые коэффициенты для σ_r из таблицы, определяем объемную дефор-



Фиг. 7

мацию грунта на фронте ударной волны

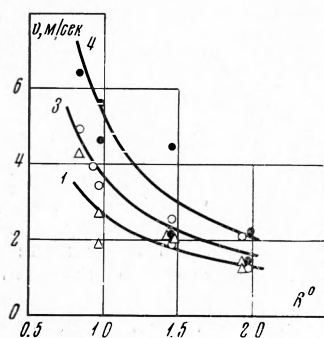
$$\theta = 1.65 \cdot 10^{-2} \frac{(R^{\circ} - 0.014)^{0.38}}{R^{2.68}} \quad \text{при } H_1^{\circ} = 0.21 \text{ м / кг}^{1/2} \quad (7)$$

$$\theta = 0.77 \cdot 10^{-1} \frac{(R^{\circ} - 0.014)^{0.38}}{R^{3.00}} \quad \text{при } H_3^{\circ} = 0.70 \text{ м / кг}^{1/2} \quad (8)$$

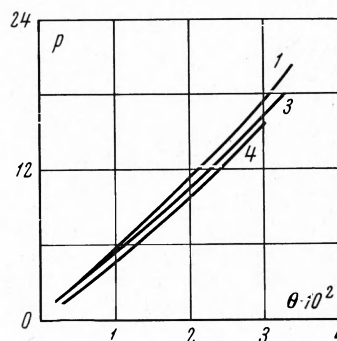
$$\theta = 3.10 \cdot 10^{-2} \frac{(R^{\circ} - 0.014)^{0.38}}{R^{3.17}} \quad \text{при } H_4^{\circ} = 0.84 \text{ м / кг}^{1/2} \quad (9)$$

Графические зависимости согласно формулам (7), (8) и (9) построены на фиг. 7. Как видно из сравнения кривых, с увеличением глубины заложения заряда объемная деформация грунта увеличивается.

На фиг. 8 представлены графические зависимости скорости частиц грунта на фронте взрывной волны от относительного расстояния. Качественное изменение скорости



Фиг. 8



Фиг. 9

частиц грунта в зависимости от глубины заложения заряда такое же, как и для объемной деформации грунта. Такое соотношение указывает на то, что в исследованном диапазоне относительных глубин заложения заряда и расстояний выполняется уравнение неразрывности

$$\theta = v / D_m \quad (10)$$

Диаграммы объемного сжатия представлены на фиг. 9. Их аналитические выражения имеют следующий вид;

$$p = 833.70 \theta^{1.09} \quad \text{при } H_1^{\circ} = 0.21$$

$$p = 568.90 \theta^{1.01} \quad \text{при } H_3^{\circ} = 0.70$$

$$p = 587.10 \theta^{1.04} \quad \text{при } H_4^{\circ} = 0.84$$

В результате обработки экспериментальных данных выявлено выполнение обобщенного геометрического подобия для параметров взрывной волны. Полученные законы изменения объемной деформации грунта в зависимости от расстояния могут служить исходными данными для расчетов зоны уплотнения при решении различных технологических задач.

Поступила 23 XII 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В. Д., Григорян С. С., Кошелев Л. И., Новгородов А. Ф., Рыков Г. В. Измерение волн напряжений в мягких грунтах. ПМТФ, 1963, № 2.
2. Рыков Г. В. Экспериментальное исследование напряжений при взрыве в песчаном грунте. ПМТФ, 1964, № 1.
3. Григорян С. С., Ляхов Г. М., Мельников В. В., Рыков Г. В. Взрывные волны в лессовом грунте. ПМТФ, 1963, № 4.
4. Рыков Г. В. Исследование модели мягкого грунта при действии взрыва. Сб. докл. Ученого Совета по народно-хозяйственному использованию взрыва, СО АН СССР, 1960, вып. 14.
5. Ляхов Г. М. Основы динамики взрыва в грунтах и жидких средах. М., «Недра», 1964.
6. Ляхов Г. М., Полякова Н. И. Волны в плотных средах и нагрузки на сооружения. М., «Недра», 1967.
7. Вовк А. А., Черный Г. И., Смирнов А. Г. Основы взрывной проходки подземных выработок. Киев, «Неукова думка», 1966.