

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ И ВЛАЖНОСТИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА НА РАЗМЕРЫ КОТЛОВОЙ ПОЛОСТИ ПРИ КАМУФЛЕТНОМ ВЗРЫВЕ

В. В. Адушкин

(Москва)

Объем котловой полости при камуфлетном взрыве определяется свойствами горной породы и представляет существенную информацию об особенностях механического действия взрыва в данной среде. Из опыта проведения взрывных работ известно [1], что отношение объема полости к весу заряда ВВ (так называемый показатель простреливаемости) в различных породах изменяется в широких пределах и составляет в глинах $2 \cdot 10^2 \div 10^3$ м³/т, в суглинках и лёссе $(30 \div 3) \times 10^2$ м³/т, в скальных породах $0,2 \div 20$ м³/т. Из приведенных данных следует, что величина показателя простреливаемости изменяется на 3–4 порядка в зависимости от физико-механических свойств горных пород.

Широкий диапазон изменения показателя простреливаемости связан с различной природой образования котловой полости в сжимаемых грунтах и скальных породах. В скальных породах с незначительной пористостью котловая полость образуется в результате вытеснения среды из зоны разрушения в область упругих деформаций [2]. В мягких грунтах с большей начальной пористостью котловая полость образуется главным образом за счет объемного уплотнения среды в области пластической деформации. Проблема взрыва в сжимаемых грунтах рассмотрена в ряде теоретических работ [3–7]. Возможность уплотнения пористых грунтов в реальных условиях зависит от соотношения количества жидкости и газа в поровом пространстве [8], поэтому при уменьшении свободной пористости возможно сочетание обоих механизмов в процессе формирования котловой полости. Таким образом, различная степень пористости горных пород изменяет их упругие и прочностные характеристики и оказывает существенное влияние на механизм образования котловой полости и ее конечные размеры.

В настоящее время известны многочисленные экспериментальные данные о размере котловой полости в пористых грунтах [9–14]. В результате измерений установлена связь радиуса полости R с величиной заряда q , которая в условиях сферической симметрии представлена в виде

$$R = kq^{1/3}, \quad (1)$$

где эмпирическим коэффициентом k интегрально учтено влияние различных характеристик грунта. Если q и R выражать соответственно в тоннах и метрах, то из работ [9, 10] следует, что для большинства мягких грунтов $k = 4 \div 4,5$. Близкий результат получен в [11], где для лёсса объемным весом $1,58$ г/см³ и влажностью $9,5\%$, а также для глин объемным весом $1,9 \div 2,05$ г/см³ и влажностью 25% в среднем $k = 3,9$. В работе [12] для лёссовидного грунта $k = 3,5$ и для песчаного водонасыщенного грунта $k = 6 \div 7$. С другой стороны, в [13] для песчаного водонасыщенного грунта $k = 3,5$.

Приведенные данные дают представление о размерах котловой полости в пористых грунтах, однако иногда величина объема полости по разным источникам может различаться на 1 порядок (см., например, [12, 13]). Очевидно, одним только эмпирическим коэффициентом в зависимости (1) трудно учесть влияние на развитие котловой полости ря-

да таких характеристик, как плотность, пористость, влажность, гранулометрический состав, содержание глинистых частиц, сцепление, коэффициент внутреннего трения и др.

В связи с этим в настоящей работе проведены систематические измерения конечных размеров котловой полости сферически-симметричного камуфлетного взрыва в песчаном грунте при изменении его объемного веса от 1,2 до 1,9 г/см³ и весовой влажности от 0 до 20%. Измерены также основные упругие и прочностные характеристики грунта. Величина показателя простреливаемости в указанных условиях изменялась на два порядка. При этом существенное влияние оказывала влажность грунта. Опыты показали, что при камуфлетном взрыве в песчаном грунте поверхность котловой полости покрыта трещинами конической формы. Глубина и раскрытие трещин, а также их количество зависели от плотности и влажности грунта. По результатам измерений показателя простреливаемости с привлечением расчетов изэнтропы расширения продуктов взрыва [15] определена энергия, переданная окружающему грунту при взрыве в зависимости от его сжимаемости.

Постановка опытов

Опыты по определению конечного размера котловой полости проводились в стальной бомбе кубической формы. Длина ребер бомбы составляла 30 см, толщина стенок 2 см. Стенки бомбы стягивались болтами, что исключало выход продуктов взрыва в атмосферу. Бомба вместе с песчаным грунтом располагалась на весах и таким образом фиксировалась средняя величина объемного веса. Контрольные измерения показали, что колебания величины объемного веса внутри массива не превышали 3% среднего значения.

В опытах использовались заряды ВВ сферической формы из пресованного тэна плотностью 1,4 г/см³. Удельная энергия взрыва тэна равна 1,34 ккал/г. Вес зарядов в опытах изменялся от 0,2 до 0,8 г. Взрывы производились как в центре рабочего объема, так и около стенки бомбы, под массивной стальной плитой. При взрыве у стенки заряду приписывался удвоенный вес. Остаточных деформаций стенок бомбы от взрыва не наблюдалось. После проведения подрыва бомба развинчивалась, образец разрезался через центр взрыва, и проводились измерения линейных размеров и объема полости. С целью измерения величины объема котловая полость заполнялась расплавом парафина или пластилина. Объем застывшего отпечатка определялся погружением в воду. Измерения объема полости в опытах с зарядами различного веса при фиксированной плотности и влажности грунта показали, что величина объема соответствовала принципу энергетического подобия, т. е. объем полости был пропорционален весу заряда. Следовательно, размеры бомбы были достаточными и не препятствовали развитию котловой полости до максимального размера.

Основные свойства грунта

В опытах использовался мелкозернистый кварцевый песок Люберецкого карьера (Моск. обл.), не содержащий глинистых частиц. Состав песка был однородным: все размеры частиц заключены в пределах от 0,2 до 0,5 мм, причем 80% частиц имели размер 0,28÷0,35 мм. Взрывы проводились в сухом песке и при увлажнении его глицерином, объемный вес которого $\gamma_w = 1,26$ г/см³. Величина весовой влажности ω , равная отношению массы увлажнителя к массе твердых частиц, в опытах составила 0,02; 0,1 и 0,2. Применение глицерина в качестве увлаж-

нителя позволяло длительное время сохранять влажность грунта постоянной.

Пористость грунта m , равная отношению объема пор к общему объему смеси, определялась соотношением

$$m = 1 - \gamma_0 / \gamma_s (1 + \omega), \quad (2)$$

где γ_0 — объемный вес грунта как трехкомпонентной среды (смесь частиц кварца, увлажнителя и воздуха); γ_s — объемный вес скелета. Измерения показали, что у данного песка $\gamma_s = 2,65$ г/см³. Свободная пористость m' , равная отношению объема воздуха к общему объему смеси, определялась выражением

$$m' = 1 - \gamma_0 (\gamma_w + \omega \gamma_s) / \gamma_s \gamma_w (1 + \omega). \quad (3)$$

В сухом состоянии $\omega = 0$, $m = m'$ и

$$m = 1 - \gamma_0 / \gamma_s. \quad (4)$$

В опытах объемный вес сухого песка изменялся в диапазоне $1,4 \leq \gamma_0 \leq 1,7$ г/см³, увлажненного — в диапазоне $1,2 \leq \gamma_0 \leq 1,9$ г/см³. В результате при $0 \leq \omega \leq 0,2$ интервал изменения пористости составил $0,34 \leq m \leq 0,62$ и свободной пористости $0,15 \leq m' \leq 0,54$.

По методике работы [16] определены основные прочностные характеристики песчаного грунта, использованного в экспериментах. На рис. 1 приведены зависимости сцепления c и коэффициента внутреннего трения K от объемного веса γ_0 для сухого песка и при фиксированных значениях влажности. Штриховыми линиями на графике изображено изменение свободной пористости m' . Измерения показали существенную зависимость величины сцепления от степени влажности грунта¹. Так,

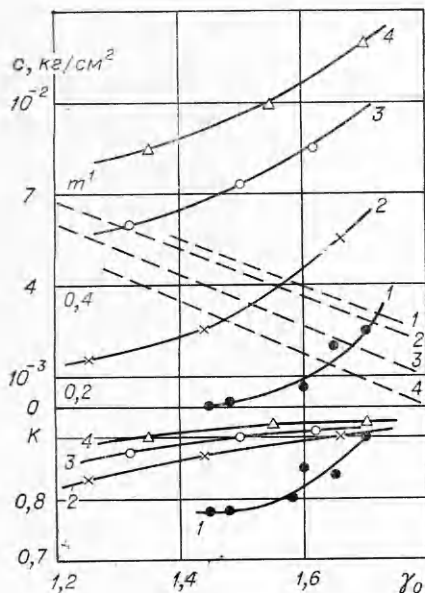


Рис. 1. Зависимость сцепления, коэффициента внутреннего трения и свободной пористости (штрих) от объемного веса грунта.

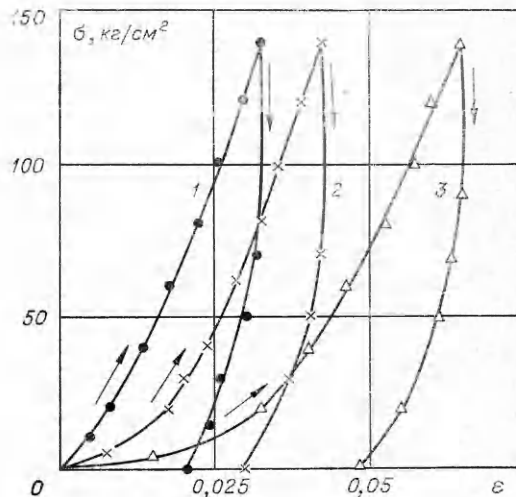


Рис. 2. Кривые статического сжатия песчаного грунта при $\gamma_0 = 1,63$ г/см³ и ω , равном 0 (1), 0,002 (2), 0,2 (3).

¹ На рис. 1, 3, 5—8, 10 ω равно 0 (1), 0,02 (2), 0,1 (3) и 0,2 (4).

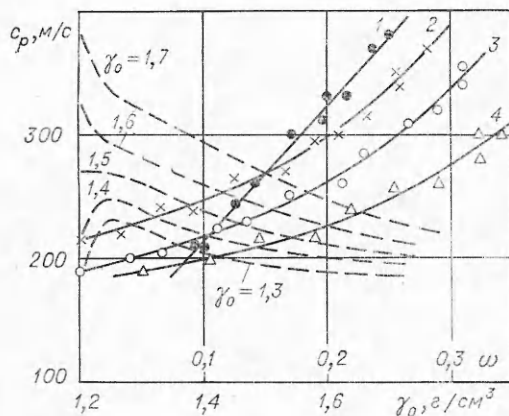


Рис. 3. Зависимость скорости распространения продольных волн от объемного веса и влажности (штриховые кривые) грунта.

сцепление возросло от 10^{-4} кг/см² для сухого песка до 10^{-2} кг/см² при влажности 20%. Рост сцепления и коэффициента внутреннего трения при увеличении объемного веса ослабевал по мере увеличения степени влажности грунта. Коэффициент внутреннего трения слабо зависел от объемного веса и влажности грунта и изменялся в диапазоне $0,78 \div 0,93$.

Проведены также опыты по статическому сжатию образцов песчаного грунта в цилиндрическом пуансоне длиной 8 и диаметром 2 см. Дренаж отсутствовал. На рис. 2 приведены типичные зависимости сжимающего напряжения σ от относительной объемной деформации.

Стрелками показаны участки нагружения и снятия напряжения. Видно, что объемная деформация песчаного грунта необратима. При этом увеличение влажности при прочих равных условиях приводило к увеличению необратимой деформации, хотя свободная пористость грунта уменьшалась (на рис. 2 от $m' = 0,38$ при $\omega = 0$ до $m' = 0,27$ при $\omega = 20\%$). Таким образом, присутствие увлажнителя и тем более увеличение его содержания улучшают условия статического сжатия песчаного грунта.

Для характеристики динамической сжимаемости песчаного грунта измерена скорость распространения упругих продольных волн c_p в зависимости от объемного веса при различной влажности (рис. 3). Штриховыми линиями показана зависимость c_p от влажности. Скорость звука в глицерине составляет 1930 м/с. Измерения проведены при помощи ультразвуковой установки УКБ-1 на частоте 60 кГц. Во всех грунтах скорость продольных волн росла при увеличении объемного веса. Для сухого песка эта зависимость линейна в диапазоне $1,4 \leq \gamma_0 \leq 1,7$ г/см³ и описывается эмпирической формулой

$$c_p = 540(\gamma_0 - 1) \text{ (м/с)}. \quad (5)$$

Увеличение влажности при фиксированном объемном весе, за исключением низких величин плотности и влажности, уменьшало скорость продольных волн.

Результаты экспериментов

Для описания результатов экспериментов введем показатель простируемости $\Pi = V/q$ и приведенный радиус котловой полости $R^0 = R/q^{1/3}$. Здесь V — измеренный объем полости в м³, q — масса заряда ВВ в т, R — радиус полости, вычисленный по величине измеренного объема, $R = (3V/4\pi)^{1/3}$. Измерить радиус полости в большей части опытов оказалось трудно, так как котловая полость в песчаном грунте не имела правильной сферической формы и ее поверхность была изрыта трещинами конической формы. Характерные формы котловой полости в песчаном грунте показаны на рис. 4.

Результаты измерений показателя простируемости в зависимости от объемного веса грунта при различной влажности приведены на

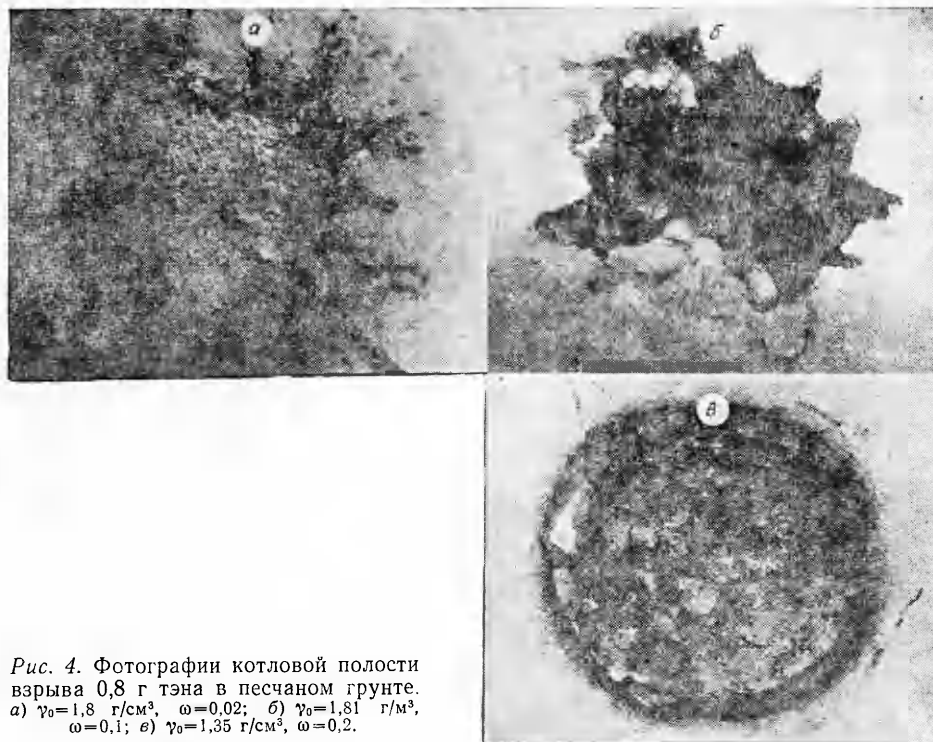


Рис. 4. Фотографии котловой полости взрыва 0,8 г тэна в песчаном грунте. а) $\gamma_0=1,8 \text{ г/см}^3$, $\omega=0,02$; б) $\gamma_0=1,81 \text{ г/см}^3$, $\omega=0,1$; в) $\gamma_0=1,35 \text{ г/см}^3$, $\omega=0,2$.

рис. 5. Разброс экспериментальных данных составил $10 \div 15\%$ во влажном и $15 \div 20\%$ в сухом грунте. Измерения показали, что показатель простреливаемости резко уменьшается при увеличении объемного веса грунта. Этот процесс происходит тем сильнее, чем больше влажность. В сухом грунте увеличение γ_0 от 1,4 до 1,7 г/см³ вызвало уменьшение Π в 5 раз, во влажном грунте изменение объемного веса в диапазоне $1,2 \leq \gamma_0 \leq 1,9 \text{ г/см}^3$ уменьшило показатель простреливаемости от $(1 \div 3) \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{т}$ до $30 \div 50 \text{ м}^3/\text{т}$. Увеличение влажности грунта до 20% при фиксированном объемном весе привело к росту объема котловой полости в 3—4 раза.

Результаты измерений можно описать эмпирической формулой, в которой Π выражается в м³/т, γ в г/см³:

$$\Pi = B\gamma_0^{-n} \quad \text{при} \quad 1,2 \leq \gamma_0 \leq 1,9 \text{ г/см}^3. \quad (6)$$

Величины коэффициентов B и n в формуле (6) для различных значений влажности ω приведены ниже

ω	0	0,02	0,1	0,2
B	$1,2 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^4$
n	6,6	8,5	8,8	8,9

Показатель степени в формуле (6) изменяется в диапазоне $6,6 \leq n \leq 8,9$ при влажности $0 \leq \omega \leq 0,2$ и иллюстрирует сильную зависимость объема котловой полости от объемного веса грунта.

Обработка экспериментальных данных для показателя простреливаемости с привлечением основных физико-механических свойств грунта показала, что при камуфлетном взрыве в песчаном грунте объем котловой полости определяется главным образом динамической сжимаемостью. На рис. 6 показана обобщенная зависимость показателя простреливаемости от отношения модуля сжатия $\gamma_0 c_p^2$ (величины, обратной сжимаемости среды) к начальному дав-

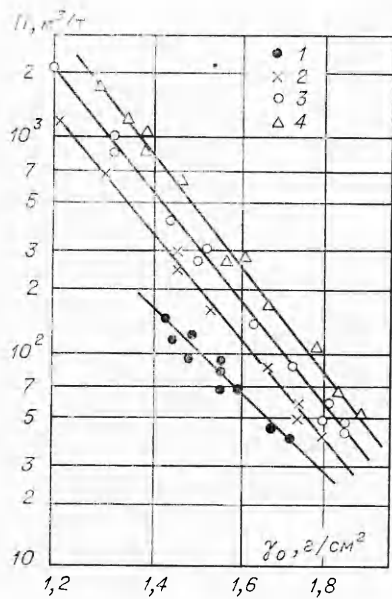


Рис. 5. Зависимость показателя простреливаемости от объемного веса грунта.

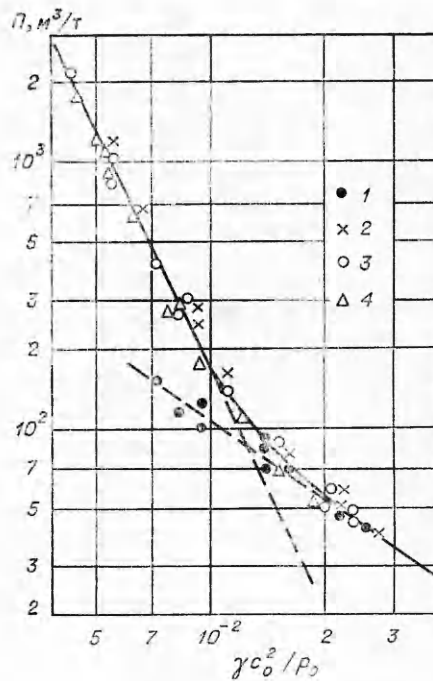


Рис. 6. Зависимость показателя простреливаемости от сжимаемости грунта.

лению взрыва в камере p_0 . По данным [15, 17], для тэна плотностью $1,4 \text{ г/см}^3$ давление мгновенного взрыва $p_0 = 10^5 \text{ кг/см}^2$. Эта зависимость объединяет результаты всех измерений и состоит из двух участков. В диапазоне $\gamma_0 c_p^2 / p_0 \leq 1,2 \cdot 10^{-2}$ величина показателя простреливаемости сильно зависит от сжимаемости среды и описывается эмпирической формулой

$$\Pi = 16,3 \cdot 10^{-5} (\gamma_0 c_p^2 / p_0)^{-3} \text{ (м}^3/\text{т)}. \quad (7)$$

Зависимость (7) объединяет результаты измерений только во влажном грунте достаточно высокой пористости, так что $1,2 \leq \gamma_0 \leq 1,6 \div 1,7 \text{ г/см}^3$. Причем диапазон изменения γ_0 расширяется с увеличением влажности грунта.

При $\gamma_0 c_p^2 / p_0 \geq 1,2 \cdot 10^{-2}$ показатель простреливаемости обратно пропорционален модулю сжатия $\gamma_0 c_p^2$ и соответствует эмпирической формуле

$$\Pi = 1,08 (\gamma_0 c_p^2 / p_0)^{-1} \text{ (м}^3/\text{т)}. \quad (8)$$

Зависимость (8) получена по результатам измерений в сухом грунте при всех значениях объемного веса и во влажном при значениях $\gamma_0 \geq 1,6 \div 1,7 \text{ г/см}^3$.

На рис. 7 показана зависимость приведенного радиуса котловой полости R^0 от объемного веса грунта γ_0 , штриховая линия — радиус заряда $r_0^0 = 0,55 \text{ м/т}^{1/3}$. При изменении плотности влажного грунта от $1,2$ до $1,8 \text{ г/см}^3$ радиус полости уменьшился от $(12 \div 15)r_0$ до $(3 \div 4)r_0$. У сухого песка в диапазоне $1,4 \leq \gamma_0 \leq 1,7 \text{ г/см}^3$ радиус полости заключен в пределах $3,6r_0 \leq R \leq 6r_0$. Из сравнения данных для радиуса полости

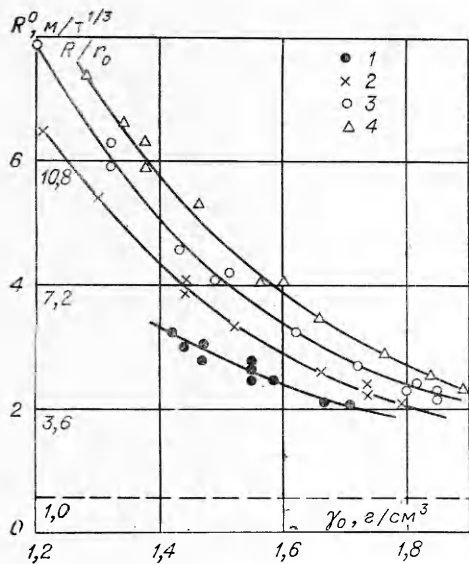


Рис. 7. Зависимость приведенного радиуса котловой полости от объемного веса грунта.

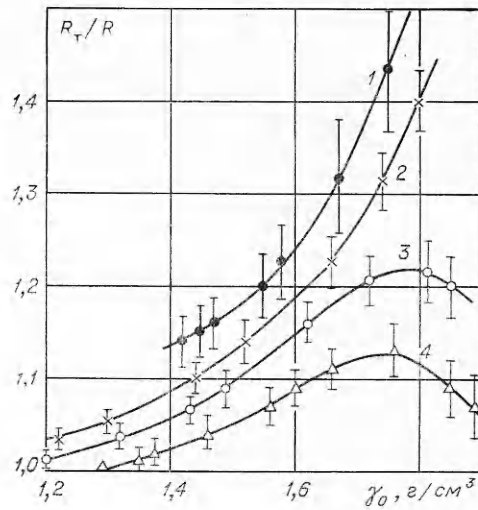


Рис. 8. Зависимость относительного размера трещин от объемного веса грунта.

на рис. 7 с зависимостью (1), в которой $k=R^0$ следует, что указанные в работах [9—14] значения эмпирического коэффициента k реализуются в данных экспериментах при различных сочетаниях объемного веса и влажности песчаного грунта. В [18] в сухом песке при $\gamma_0=1,55$ г/см³ индукционным датчиком, имевшим форму стержня диаметром 6 мм, зафиксирован конечный размер котловой полости $\bar{R}=10r_0$. Из рис. 7 следует, что при $\gamma_0=1,55$ г/см³ $R=5r_0$. Показатель простируемости при $R=10r_0$ оказался бы даже вдвое выше, чем у грунта такой же плотности при $\omega=0,2$. Вероятно, при измерениях в [18] фиксировалось развитие интенсивной радиальной трещины вдоль стержневого датчика, поскольку поверхность котловой полости в сухом песке всегда рассечена глубокими радиальными трещинами.

Не только в сухом песке, но и в большинстве опытов во влажном грунте поверхность котловой полости была изрезана радиальными трещинами конической формы. Глубина и раскрытие трещин зависели от плотности и влажности грунта. Такая зависимость показана на рис. 8 в виде отношения измеренного радиуса полости в месте расположения трещины R_τ к радиусу полости R , вычисленному по объему. Около экспериментальных точек отмечен разброс измерений от трещины к трещине. Видно, что наибольший размер трещины имели в сухом песке, при увеличении влажности их размер уменьшался. Относительная глубина трещин и разброс по размерам росли с увеличением объемного веса грунта. Эта закономерность нарушалась в области высокой плотности тем раньше, чем выше была влажность грунта. Так, в случае $\omega=0,2$ относительный размер трещин начал уменьшаться при $\gamma_0 \geq 1,7$ г/см³, в случае $\omega=0,1$ при $\gamma_0 \geq 1,8$ г/см³.

Явление интенсивного растрескивания границы полости в мягких грунтах уже отмечалось в ряде экспериментальных работ [19—21]. Трещины появляются, очевидно, в результате развития отдельных неустойчивостей, возникающих в пористой среде на расширяющейся поверхности раздела. В работе [22] на основе расчета поля напряжений в рамках модели вязкопластичной среды показано, что уже на начальной стадии движения возникают интенсивные тангенциальные растяги-

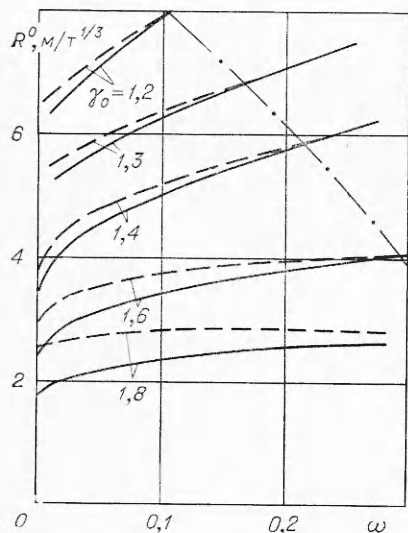


Рис. 9. Зависимость приведенного радиуса полости от влажности грунта при фиксированном объемном весе.

нии, что с увеличением влажности грунта относительный размер радиальных трещин уменьшается. Этот результат экспериментов проиллюстрирован на рис. 9, на котором сплошными линиями показана зависимость приведенного радиуса полости R^0 от влажности грунта ω , а штриховыми — размер радиальных трещин R_r^0 . При увеличении влажности, а также при снижении плотности грунта размер трещин уменьшался. При взрывах во влажном грунте при $\omega \geq 10\%$ и при $\gamma_0 \leq 1,3$ г/см³ котловая полость имела достаточно гладкую поверхность и размер трещин в этих условиях уже был соизмерим с размером частиц песка. На рис. 9 область отсутствия радиальных трещин отмечена штрихпунктиром. Таким образом, величины плотности и влажности грунта оказывают сильное влияние не только на конечные размеры котловой полости, но и на размеры радиальных трещин, полностью исключая их появление в определенных условиях.

На основании полученных данных о конечном объеме котловой полости определена энергия, переданная при взрыве окружающему грунту в зависимости от его плотности и влажности. Величина этой энергии измеряется той работой, которую совершают продукты взрыва в результате своего расширения

$$A = \int p dV.$$

Величину A можно вычислить как разность между начальной энергией взрыва q и внутренней энергией продуктов взрыва E , которой они обладают после расширения котловой полости до конечного объема. Имеющиеся в настоящее время термодинамические расчеты для ВВ с известными уравнениями состояния [15] позволяют определить величину энергии E в зависимости от показателя простираемости. Предполагая, что адиабата продуктов взрыва тэна, использованного в экспериментах, близка к адиабате продуктов взрыва для гексогена с начальной плотностью 1,4 г/см³ из [15], такую зависимость можно представить в виде

$$E/q = 0,56\Pi^{-0,37} \text{ при } \Pi \geq 2 \text{ м}^3/\text{т}.$$

вающие напряжения. Эти напряжения порождают систему радиальных трещин, которые представляют потенциальный источник для развития неустойчивости. Отдельные трещины получают свое развитие при расширении полости под действием газов взрыва. Причем формируется такая структура радиального растрескивания на поверхности полости, при которой раскрытие отдельной трещины в основании примерно равно глубине трещины. Интересно, что из решения задачи в работе [22] получено, что при увеличении масштаба взрыва поле растягивающих напряжений возникает на более поздних стадиях движения, и грунт вокруг полости при ее расширении находится в состоянии всестороннего сжатия, поэтому появление радиальных трещин не должно наблюдаться.

Кроме того, экспериментальные данные настоящей работы находятся в соответствии с результатами решения работы [22] также в том отношении

Тогда полная работа взрыва при расширении котловой полости в зависимости от показателя простируемости определяется из уравнения

$$A = q(1 - 0,56\Pi^{-0,37})$$

при $\Pi \geq 2 \text{ м}^3/\text{т}$.

Из этого выражения с учетом (6) следует, что величина работы взрыва уменьшается при увеличении объемного веса грунта любой влажности и растет с увеличением влажности при фиксированном объемном весе тем сильнее, чем больше величина плотности грунта. Результаты расчета работы взрыва показаны на рис. 10 в зависимости от отношения модуля сжатия к начальному давлению в камере взрыва $\gamma_0 c_p^2 / p_0$ и соответствует эмпирической формуле

$$A/q = 0,65 - 0,135 \lg \gamma_0 c_p^2 / p_0.$$

Эта зависимость объединяет результаты расчетов работы взрыва в исследованном диапазоне изменения свойств песчаного грунта, из нее выпадают данные для сухого песка при $\gamma_0 \leq 1,55 \text{ г/см}^3$, что возможно объяснить утечкой продуктов взрыва в поровое пространство на стадии расширения котловой полости. Из рис. 10 следует, что сжимаемость оказывает определяющее влияние на энергию, переданную окружающему грунту при камуфлетном взрыве. Величина этой энергии составляет значительную долю от полной энергии взрыва, изменяясь в условиях данных экспериментов в интервале $0,97q \leq A \leq 0,85q$, и понижается при уменьшении сжимаемости грунта.

Проведенные расчеты распределения энергии взрыва в грунте находятся в хорошем соответствии с выводами работы [11], в которой методом измерения температурного поля установлено, что при камуфлетном взрыве в сжимаемом грунте работа взрыва затрачивается главным образом на необратимое деформирование, превращаясь в тепловую энергию. Измерения [11] в мелкозернистом песке с объемным весом $1,55 \text{ г/см}^3$ и весовой влажностью 8% показали, что на нагрев среды расходуется около 80% полной энергии взрыва. По результатам данной работы при $\gamma_0 = 1,55 \text{ г/см}^3$ и $\omega = 10\%$ величина энергии, переданной среде при взрыве, составляет 90% полной энергии взрыва.

В заключение автор выражает благодарность С. А. Кошечу и В. Я. Либину за помощь в проведении экспериментов.

Поступила в редакцию
11/V 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по буровзрывным работам на строительстве. М., Госстройиздат, 1962.
2. В. Н. Родионов и др. Механический эффект подземного взрыва. М., «Недра», 1971.
3. А. Ю. Ишлинский, И. В. Зволинский, И. З. Степаненко. Докл. АН СССР, 1954, 95, 4

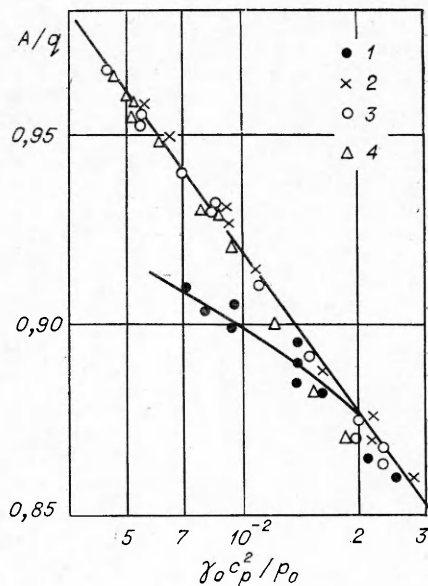


Рис. 10. Зависимость работы взрыва от сжимаемости грунта.

4. А. С. Компанеец. Докл. АН СССР, 1956, 109, 1.
5. Э. И. Андрианкин, В. П. Корявов. Докл. АН СССР, 1959, 128, 2.
6. Е. И. Шемякин. ПМТФ, 1961, 5.
7. С. С. Григорян. ПММ, 1964, 28, 6.
8. А. Ф. Лебедев. Уплотнение грунтов при различной их влажности. М., Стройвоенмориздат, 1949.
9. Т. И. Покровский, И. С. Федоров. Действие удара и взрыва в деформируемых средах. М., Промстройиздат, 1957.
10. В. А. Кривцов.— В сб.: Народнохозяйственное использование взрыва. Вып. 29. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1964.
11. М. М. Докучаев, В. В. Родионов, А. Н. Ромашов. Взрыв на выброс. М., Изд-во АН СССР, 1963.
12. Г. М. Ляхов. Основы динамики взрыва в грунтах и жидких средах. М., «Недра», 1964.
13. П. Л. Иванов. Уплотнение несвязных грунтов взрывами. Л., 1967.
14. А. А. Вовк, Г. И. Черный, А. Г. Смирнов. Основы взрывной проходки подземных выработок. Киев, «Наукова думка», 1966.
15. Н. М. Кузнецов, К. К. Шведов. ФГВ, 1967, 3, 2.
16. В. В. Адушкин, Т. А. Орленко. МТТ, 1970, 2.
17. Я. Б. Зельдович, А. С. Компанеец. Теория детонации. М., Гостехиздат, 1955.
18. О. С. Колков, А. М. Тихомиров, А. Ф. Шацкевич. ФГВ, 1967, 3, 4.
19. Л. В. Альтшулер и др. ФГВ, 1970, 6, 3.
20. А. А. Вовк, Г. И. Черный, А. В. Михалюк. ФТПРПИ, 1972, 6.
21. А. Л. Исаков, В. П. Коковкин, В. Х. Ротт.— В сб.: Вопросы механизма разрушения горных пород. ИГ СО АН СССР, 1976.
22. Э. А. Кошелев. ПМТФ, 1975, 2.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТВЕРДОЙ СРЕДЕ МЕТОДОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Э. О. Миндели, А. Г. Дорфман, И. Г. Чогошвили

(Тбилиси)

Разрушение горных пород — один из основных процессов при добыче полезных ископаемых. Однако изучение физики процессов разрушения твердой среды, особенно при импульсных нагружениях, остается все еще слабым звеном в общей проблеме. Это в известной мере обусловлено чрезвычайно малой длительностью ударных нагрузок, требующих довольно сложных методов измерения, позволяющих определить физические параметры в условиях высокоскоростного процесса.

Существующие в настоящее время в мировой практике экспериментальные методы изучения разрушения твердых тел под действием взрывной нагрузки обладают определенными недостатками и не дают полной картины процесса разрушения, поэтому на повестке дня со всей актуальностью стоит вопрос о совершенствовании этих методов и разработке новых. Открытие голографической интерферометрии значительно расширило область применения оптических (в том числе интерференционных) методов исследования физических процессов. Достоинства основных методов голографической интерферометрии — методов двойной экспозиции и реального времени [1] — заключаются в возможности интерференционного сравнения физически различных состояний одного и того же нестационарного объекта в заданные моменты времени в отличие от классической интерферометрии, позволяющей исследовать различие двух объектов только в один и тот же момент времени, например, при помощи интерферометра Маха — Цендера. Поэтому большой интерес представляет применение метода голографической интерферометрии для исследования взрывных процессов в твердой среде.