

5. Domeniko S. N. Elastic properties of unconsolidated porous sand reservoirs // Geophysics.— 1977.— V. 42, N 7.
6. Salin D., Schon W. Acoustics of water saturated packed glass spheres // J. Phys. Lett.— 1981.— V. 42.
7. Hovem J. M., Ingram J. D. Viscous attenuation of sound in saturated sand // J. Acoust. Soc. Amer.— 1979.— V. 66, N 6.
8. Plona T. J. Observation of a second bulk compressional wave in a porous medium at ultrasonic frequencies // Appl. Phys. Lett.— 1980.— V. 36, N 4.
9. Johnson D. L., Plona T. J. Acoustic slow waves and the consolidation transition // J. Acoust. Soc. Amer.— 1982.— V. 72, N 2.
10. Stoll R. D. Theoretical aspects of sound transmission in sediments // J. Acoust. Soc. Amer.— 1980.— V. 68, N 5.
11. Оренбах З. М. Межфазный теплообмен и динамика возмущений давления в кипящих жидкостях: Дис. ... канд. физ.-мат. наук.— Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1984.
12. Столл Р. Д. Акустические волны в водонасыщенных осадках // Акустика морских осадков.— М.: Мир, 1977.
13. Hall J. B., Richart F. E. Dissipation of elastic wave energy in granular solid // J. Soil Mech. Found. Div. A. S. C. E.— 1963.— V. 89, N SM6.

Поступила 10/X 1986 г.

УДК 622.235

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ТОРФА ПРИ КАМУФЛЕТНОМ ВЗРЫВЕ

П. П. Бондарь, А. Г. Смирнов

(Киев)

Приводятся результаты экспериментальных исследований изменения прочности торфа при камуфлетном взрыве сосредоточенного заряда взрывчатого вещества (ВВ). Установлено, что распределение прочности торфа с расстоянием от взрыва, как и в водонасыщенных минеральных грунтах [1], носит зональный характер. Это означает, что торф в одних зонах разупрочняется, а в других приобретает дополнительную прочность по сравнению с начальным состоянием. Характерно наличие примыкающей к взрывной полости зоны разупрочнения торфа, что хорошо согласуется с данными [2].

Характеристика грунтов и условия проведения опытов. Определяющее влияние на прочностные свойства торфа оказывают его пористость, влажность и степень разложения [3]. Определение параметров физического состояния торфа (плотности ρ , плотности скелета ρ_0 , весовой W_g и объемной W_v влажности, степени разложения R и пористости ε) проводилось путем отбора проб и испытания их в лабораторных условиях по стандартной методике [3, 4], а его прочность (сопротивление сдвигу τ) измерялась непосредственно в массиве испытаниями на вращательный срез пенетрометром-крыльчаткой ПКЗ-1м по методике [5]. Перед взрывом на каждой площадке в различных ее точках на глубине заложения заряда проводилось по 10—15 испытаний торфа. Основные физико-механические свойства торфа экспериментальных площадок приведены в таблице, где τ_0 представляет собой взвешенное среднее арифметическое из полученных в результате испытаний значений прочности торфа, а σ — среднеквадратичное отклонение этой величины.

В опытах использовались сосредоточенные заряды аммонита № 6 ЖВ массой 0,15 кг и плотностью 1000 кг/м³. На каждой площадке про-

Номер площадки	$\rho \cdot 10^3$, кг/м ³	$\rho_0 \cdot 10^3$, кг/м ³	W_g , %	W_v , %	ε	R , %	$\tau_0 \cdot 10^6$, Па	σ , кПа
1	0,92	0,21	240	64,9	3,4	40—45	0,25	4,13
2	0,97	0,11	590	82,9	7,8	15—20	0,22	5,08
3	0,98	0,07	1000	89,1	12,8	45—50	0,10	4,33
4	1,01	0,073	920	91,1	12,8	25—30	0,20	4,18
5	0,97	0,19	330	74,4	4,1	30—40	0,31	4,95
6	0,98	0,07	1050	89,1	13,0	20—25	0,19	3,47
7	1,05	0,19	620	90,4	4,5	10—15	0,26	3,21

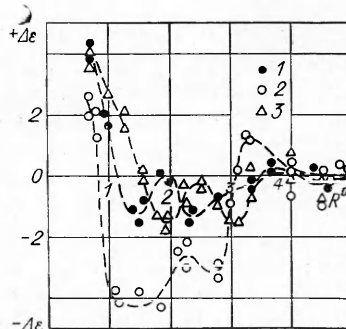
водилось по три взрыва. Глубина заложения заряда во всех опытах одинаковая и равна 0,7 м. На этой глубине действие взрыва заряда ВВ массой 0,15 кг по характеру вызываемых им в массиве грунта волновых и деформационных процессов является камуфлетным [2, 6].

После взрыва проводились испытания торфа на вращательный срез и статическое зондирование в массиве на различных расстояниях от взрыва по трем радиальным направлениям от заряда на глубине его заложения. По результатам статического зондирования (удельному сопротивлению торфа зондированию q) и согласно тарировочным зависимостям $q = f(\epsilon)$ приближенно (ошибка составляла $\pm 15-18\%$) оценивалось изменение пористости торфа под действием взрыва. Зависимости $q = f(\epsilon)$ получены на компрессионно-зондировочном приборе (КЗИ), разработанном в институте УкрНИИПроект Л. П. Загоруйко. КЗИ благодаря возможности использования образцов грунта объемом 11 685 см³ позволяет проводить статическое зондирование грунта в ходе его компрессионных испытаний, т. е. при различных значениях пористости.

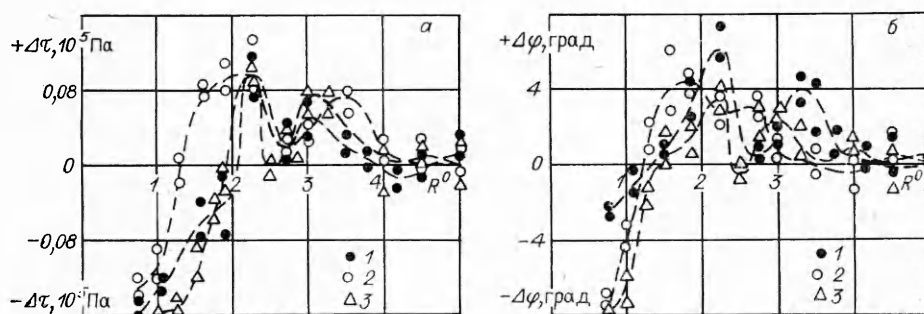
Результаты опытов. Введем приведенное к массе заряда размерное расстояние $R^0 = r \sqrt[3]{Q}$, м·кг^{-1/3} (r — расстояние от центра взрыва, м; Q — масса заряда, кг). Испытания грунта в массиве проводились на расстояниях от 0,75 до 5,0 м·кг^{-1/3}.

На рис. 1 приведены зависимости приращения $+\Delta\epsilon$ и снижения $-\Delta\epsilon$ пористости торфа от R^0 . На рис. 2, а, б представлены зависимости приращения и снижения сопротивления сдвигу $+\Delta\tau$, $-\Delta\tau$ и угла внутреннего трения $+\Delta\phi$, $-\Delta\phi$ торфа от R^0 . Точки представляют собой максимальные и минимальные значения измеренных параметров, т. е. определяют пределы их изменения, для каждого конкретного расстояния. Штриховые кривые проведены по средним значениям параметров в данных пределах их изменения, 1—3 относятся к экспериментальным площадкам 1, 6 и 7 (см. таблицу). Подобные результаты получены и на других площадках. Из приведенных зависимостей следует, что распределение остаточных деформаций после взрыва в торфе, как и в водонасыщенном минеральном грунте [1, 2], носит зональный характер.

В отношении изменения пористости торфа под действием взрыва можно выделить две основные зоны. Непосредственно к камуфлетной полости примыкает зона разуплотнения (повышенной относительно естественного состояния пористости) торфа, за которой следует зона уплотнения (пониженной пористости). Размеры зон, а также степень разуплотнения и уплотнения зависят в большей мере от влажности торфа и в меньшей — от степени его разложения. Так, для торфов высокой влажности ($W_g =$



Р и с. 1



Р и с. 2

= 920—1050 %) повышение пористости наблюдается до $R^0 = 1,25 \text{ м} \cdot \text{кг}^{-1/3}$, тогда как при $W_g = 240—330\%$ такое явление отмечено до $R^0 = 1,35 \text{ м} \cdot \text{кг}^{-1/3}$. При этом в первом случае пористость торфа увеличивается в 1,05—1,27 раза, а во втором — в 1,47—2,25 раза.

В свою очередь, изменение пористости в зоне уплотнения торфа носит знакопеременный характер (см. рис. 1). «Седловидное» изменение пористости в уплотненной зоне отмечено на всех площадках. В грунтах с $W_g = 240—620\%$ в точках минимума пористость составляет 50—73,5 % начальной пористости, а на площадке 5 отмечено снижение пористости до 25 % начального значения. Максимум пористости в уплотненной зоне для маловлажных и средней влажности торфов ($W_g \leq 620\%$) в 1,1—1,3 раза меньше начальной пористости торфа.

На площадках 3, 4 пористость торфа уменьшилась в 1,15—1,58 раза в точках минимума пористости. Причем значение пористости в точке первого минимума в 1,17—1,2 раза меньше пористости в точке второго минимума (точки 3 рис. 1). В точке максимума пористость меньше начальной в 1,01—1,29 раза. В целом размеры зоны фиксируемых остаточных деформаций достигают $5,0 \text{ м} \cdot \text{кг}^{-1/3}$. Независимо от влажности отмечено повышение степени уплотнения торфа с увеличением степени его разложения.

Изменение прочности торфа с расстоянием от взрыва носит также зональный характер. Чередование зон упрочнения и разупрочнения аналогично распределению зон изменения пористости. Однако размеры зон, а также положение экстремальных точек в подавляющем большинстве случаев не совпадают с положением аналогичных показателей пористости. При этом необходимо отметить определяющее влияние на изменение прочности торфа степени его разложения R . Ближняя граница зоны разупрочнения ($R^0 = 1,15—1,25 \text{ м} \cdot \text{кг}^{-1/3}$) относится к мало- и среднеразложившимся торфам ($R \leq 30—40\%$) низкой влажности, а дальняя ($R^0 = 2,0—2,1 \text{ м} \cdot \text{кг}^{-1/3}$) — к сильноразложившимся торфам ($R > 40\%$) высокой влажности. В этой зоне прочность торфа снижается в 1,15—2,63 раза по сравнению с начальной для малоразложившихся торфов и в 4,0—4,17 раза — для сильноразложившихся.

Зависимость прочности торфа с расстоянием от взрыва в зоне упрочнения ($R^0 = 1,15—4,65 \text{ м} \cdot \text{кг}^{-1/3}$) носит знакопеременный характер: отмечено наличие двух максимумов и одного минимума прочности. Прочность в точках максимума колеблется в пределах от 130 до 200 % прочности торфа в недеформированном состоянии. Минимальное упрочнение торфа составляет 105—116 %, т. е. практически равно начальной прочности. Следует отметить, что относительное приращение прочности $(\tau \pm \Delta\tau)/\tau$ сильноразложившихся торфов влажностью 900—1000 % больше, чем мало- и среднеразложившихся.

Обсуждение результатов. Изложенные выше результаты опытов можно объяснить, исходя из современных представлений о природе прочности торфа [3] и закономерностях деформирования водонасыщенных грунтов под действием взрыва [1, 2, 7].

Наличие незначительной по размерам зоны разуплотнения торфа, непосредственно примыкающей к взрывной полости (см. рис. 1), можно объяснить обратным движением границы полости к центру взрыва после падения до нуля избыточного давления в газообразных продуктах детонации и существенным разрыхлением торфа в результате нарушения его природной структуры под действием интенсивной волны напряжений и проникающих в грунтовые поры газов взрыва. Естественным поэтому является тот факт, что прочность в зоне разуплотнения существенно ниже начальной. Далее следует зона, характеризующаяся пониженной пористостью (см. рис. 1) и повышенным значением угла внутреннего трения торфа (см. рис. 2, б). Однако общая прочность торфа (сопротивление сдвигу τ) остается все еще ниже начального значения (см. рис. 2, а). Увеличение угла внутреннего трения объясняется пониженной пористостью и влажностью торфа в этой зоне. В [2] показано, что уплотнение торфа при

взрыве есть следствие ликвидации свободной и сокращения общей пористости торфа в результате отжатия воды из пор грунта под действием динамической нагрузки, и в этом отношении торф не отличается от минеральных водонасыщенных грунтов [1, 7]. Однако это приводит к существенному нарушению природной структуры торфа, что, согласно [3], вызывает снижение прочности торфа почти на 50%. Но благодаря повышению плотности и снижению влажности грунта в рассматриваемой зоне увеличиваются силы внутреннего трения, что обуславливает снижение общей прочности торфа лишь на 25—30%. При дальнейшем увеличении расстояния от взрыва интенсивность динамической нагрузки снижается, торфу в значительной степени удается сохранить природную структуру, а снижение пористости и влажности вызывает повышение общей прочности торфа.

Установлен факт некоторого относительного повышения пористости, снижения угла внутреннего трения и соответствующего снижения общей прочности торфа в зоне $1,8 \leq R^0 \leq 2,5 \text{ м} \cdot \text{кг}^{-1/3}$ (см. рис. 1, 2), что хорошо согласуется с результатами проведенных экспериментов [1, 2]; отмечено, что при взрыве в грунте движение грунтовых вод происходит как в направлении от взрыва, так и в направлении из глубины массива к очагу взрыва. Это вызывает возникновение сходящихся потоков жидкости в грунте, обуславливающих образование зоны повышенной относительно недеформированного состояния влажности грунта. Наличие таких зон отмечено в водонасыщенных органоминеральных грунтах на расстояниях $1,6 \leq R^0 \leq 2,7 \text{ м} \cdot \text{кг}^{-1/3}$ от взрыва [2].

Вторичное повышение прочности обусловлено только лишь увеличением плотности торфа в результате ликвидации его свободной пористости. Этим можно объяснить тот факт, что в торфах прочность в точке первого максимума всегда больше прочности в точке второго максимума (см. рис. 2, а).

Таким образом, изменение прочности торфа при камуфлетном взрыве заряда ВВ неоднозначно: грунт не только разупрочняется, но и в определенных зонах приобретает дополнительную прочность по отношению к начальной, т. е. упрочняется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравец В. Г., Гриценко Н. С., Демещук Л. И. Формирование инженерных свойств грунтов взрывными методами.— Киев: Наук. думка, 1983.
2. Смирнов А. Г., Биржишкис И. С. Использование взрыва при строительстве сооружений на водонасыщенных грунтах.— М.: Недра, 1984.
3. Амарян Л. С. Прочность и деформируемость торфяных грунтов.— М.: Недра, 1969.
4. Лиштван И. И., Король Н. Г. Основные свойства торфа и методы их определения.— Минск: Наука и техника, 1975.
5. Корчагин Г. П., Коренева С. Л. Прессиометрия и вращательный срез в инженерной геологии.— М.: Недра, 1976.
6. Ляхов Г. М. Основы динамики взрыва в грунтах и жидких средах.— М.: Недра, 1964.
7. Ляхов Г. М. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах.— М.: Наука, 1982.

Поступила 12/IX 1986 г.