

05.1;12  
©1993 г.

## ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НА УДАРНУЮ СЖИМАЕМОСТЬ ПЕСКА

*А.М.Брагов, Г.М.Грушевский*

Экспериментальное исследование динамической сжимаемости многокомпонентных сред (грунтов, горных пород и т.д.) является необходимой физической основой для разработки уравнений состояния, адекватно описывающих основные эффекты ударно-волновых процессов в подобных средах. Несмотря на свою научную и практическую актуальность, ударная сжимаемость многокомпонентных сред, в частности мягких грунтов, на сегодня недостаточно изучена. Это объясняется сложностью явлений динамического деформирования этих материалов, а также методическими трудностями измерения параметров ударно-волновых процессов в многокомпонентных средах.

Результаты по ударной сжимаемости некоторых мягких грунтов в диапазоне давлений от 1 до 6 ГПа представлены в работах [1-3]. Однако данные по динамической сжимаемости и влиянию на нее параметров начального состояния материала в диапазоне давлений 0.1-1 ГПа практически отсутствуют. Целью настоящей работы является исследование влияния влажности и гранулометрического состава на ударную сжимаемость песка в указанном диапазоне давлений.

В экспериментах для определения ударной сжимаемости использовался метод отражения [4]. Схема испытаний приведена на рис.1. Слой песка толщиной 8 мм (4) располагался между двумя пластинами из алюминиевого сплава (3 и 5). Волны сжатия в пластине-экране (3) толщиной 5 мм возбуждались ударом пластины (2), разогнанной с помощью баллистической установки калибром 57 мм [5]. В результате удара в пластине-экране и образце грунта формировалась плоская волна сжатия. Скорость соударения варьировалась в диапазоне 100-500 м/с и измерялась с погрешностью, не превышающей 2%, с помощью электроконтактных датчиков [5]. Скорость распространения волны сжатия в образце определялась двумя диэлектрическими датчиками давления, расположенными на поверхностях образца [6]. Толщины ударников, пластины-экрана, образцов выбирались таким образом, чтобы волны разгрузки от свободных поверхностей не могли исказить картину одномерной деформации в волне сжатия. Измерение скорости удара, скорости распространения волны сжатия в образце в совокупности с известными адиабатами ударника и пластины-экрана дают возможность определять ударную адиабату исследуемой среды [4].

Результаты испытаний песка представлены на рис.2 и в таблице. Номера кривых на рисунке и номера представленных в таблице данных соответствуют друг другу.

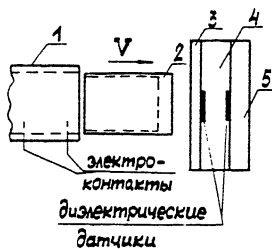


Рис. 1. Схема плосковолнового испытания. 1 — ствол газовой пушки, 2 — ударник, 3 — экран, 4 — образец, 5 — пластина.

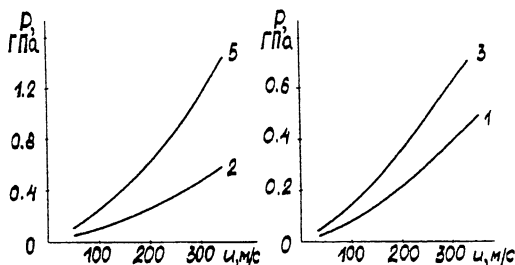


Рис. 2. Адиабаты песка. а) 2 — сухого, 5 — влажного, б) 1 — фракции 0.2; 3 — фракции 1.0.

N п/п	Вид песка	Размер частиц, мм	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	A, м/с	B
1	Сухой	0.16-0.20	1.52	420	1.45
2	( $W = 1\%$ )	0.20-0.315	1.60	450	1.69
3		0.63-1.0	1.67	710	1.73
4	Сухой, смесь	—	1.60	500	1.94
5	Влажный	0.20-0.315	1.9	930	3.48

На рис. 2,а в координатах “давление ( $P$ ) — массовая скорость ( $U$ )” показаны ударные адиабаты песка одинакового зернового состава влажностью 1 и 18%. Из рисунка хорошо видно, что увеличение влажности приводит к уменьшению сжимаемости песка. Это объясняется тем, что поры влажного песка заполнены водой, сжимаемость которой существенно ниже, чем воздуха.

Ударные адиабаты обычно представляют и в координатах “скорость распространения волны ( $D$ ) — массовая скорость ( $U$ )”. В этих осях ударные адиабаты принимают линейную форму и могут быть описаны соотношением вида

$$D = A + BU,$$

где значения параметров  $A$  и  $B$  представлены в таблице. Величины коэффициентов для влажного песка примерно в два раза больше соответствующих коэффициентов для сухого песка. Помимо плосковолновых ударных экспериментов, динамическая сжимаемость грунтового материала изучалась с помощью модифицированного метода Кольского [7]. Использование этого метода позволило исследовать сжимаемость песка в диапазоне давлений

10–100 МПа и массовых скоростях 10–20 м/с. После обработки результатов экспериментов были получены скорости распространения волн сжатия малой амплитуды, которые имели величины 450 и 1100 м/с соответственно для сухого и влажного песка. Следует отметить удовлетворительное совпадение этих скоростей с параметром  $A$ , полученным из плосковолновых испытаний.

Для сухого грунта проведено изучение динамической сжимаемости в зависимости от зернового состава. Эти данные показаны на рис. 2,б. Как следует из рисунка, адиабата материала с более крупными зернами располагается выше адиабаты с мелким зерном. Следствием этого является увеличение значений параметров  $A$  и  $B$  с ростом зерна.

Совокупность полученных в настоящей работе данных качественно соответствует результатам работ [1,2]. Наибольшее согласование отмечается для смеси сухого песка. Таким образом, экспериментальные результаты настоящей работы позволили выявить влияние влажности и гранулометрического состава на динамическую сжимаемость песка в ранее неисследованном диапазоне давлений.

### Список литературы

- [1] Дианов М.Д., Златин Н.А., Мочалов С.М., Пугачев Г.С., Росомато Л.Х. // Письма в ЖТФ. 1976. Т. 2. В. 12. С. 529–532.
- [2] Лагунов В.А., Степанов В.А. // ПМТФ. 1963. № 1. С. 88–96.
- [3] Дианов М.Д., Златин Н.А., Пугачев Г.С., Росомато Л.Х. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. В. 11. С. 692–694.
- [4] Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Мысль, 1966. 686 с.
- [5] Брагов А.М., Грушевский Г.М., Олонов Л.К. // Заводская лаборатория. 1991. № 7. С. 50–51.
- [6] Степанов Г.В. Упругопластическое деформирование и разрушение материалов при импульсном нагружении. Киев: Наукова думка, 1991. 288 с.
- [7] Грушевский Г.М. Экспериментальное и теоретическое изучение поведения грунтовых сред при ударном сжатии деформируемыми телами: Дисс. канд. техн. наук. Н. Новгород, 1993, 163 с.

Научно-исследовательский институт механики  
при Нижегородском государственном  
университете им. Н.И.Лобачевского

Поступило в Редакцию  
4 мая 1993 г.