

05

Методика определения ударной сжимаемости мягких грунтов по результатам обращенных экспериментов

© А.М. Брагов, В.В. Баландин, А.К. Ломунов, А.Р. Филиппов

Научно-исследовательский институт механики Нижегородского университета

E-mail: postmaster@dk.mech.unn.ru

Поступило в Редакцию 11 января 2006 г.

Предложен простой метод определения ударной адиабаты грунтового материала по результатам обращенного эксперимента и мерного стержня с плоским торцом.

PACS: 91.32.-m

Исследования динамической сжимаемости мягких грунтов при нагрузках более 500 МПа проводились с использованием плосковолновых ударных или взрывных экспериментов [1–3]. В последние годы для изучения поведения мягких грунтов в диапазоне нагрузок до 500 МПа стали использовать модифицированный метод Кольского [4]. Оригинальная методика исследования ударной сжимаемости мягких грунтов была предложена в начале 60-х гг. прошлого века В.А. Лагуновым и В.А. Степановым [5]. В этой работе цилиндрический ударник с плоским торцом наносил удар по песчаной мишени. Процесс ударного взаимодействия фиксировался с помощью импульсной рентгенографии и скоростной киносъемки. В результате обработки рентгено- и кинограмм с использованием известных законов сохранения [6] была определена ударная сжимаемость песка в широком диапазоне изменения нагрузок. Однако в те годы эта методика не нашла широкого применения ввиду ее большой трудоемкости.

В настоящем сообщении предлагается усовершенствованный вариант этой методики, использующий обращенный эксперимент [7]. Здесь контейнер с грунтом I разгоняется в стволе газовой пушки

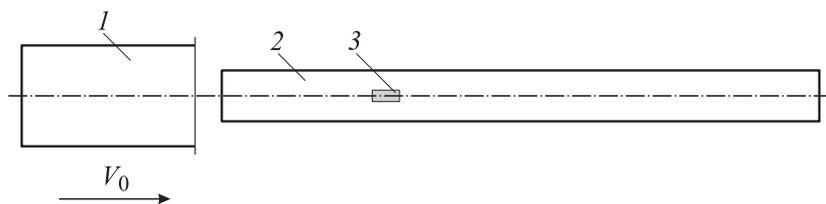


Рис. 1. Схема обращенного эксперимента: 1 — контейнер с грунтом; 2 — мерный стержень; 3 — тензодатчик.

(рис. 1) и наносит удар по плоскому торцу мерного стержня 2. Возбуждаемый при ударе импульс деформации $\varepsilon(t)$ регистрируется тензодатчиками 3, наклеенными на боковую поверхность стержня. Необходимым условием построения ударных адиабат в этом случае является упругое деформирование мерного стержня. Регистрация этого импульса позволяет определить усилия $F(t)$, действующие на ударник по известному соотношению

$$F(t) = E\varepsilon(t)A, \quad (1)$$

где E — модуль упругости, A — площадь поперечного сечения стержня.

Максимальные значения осевого напряжения σ_x можно вычислить из значения максимальной силы сопротивления внедрению F_{\max} , определяемой в обращенных экспериментах:

$$\sigma_x = \frac{F_{\max}}{A}. \quad (2)$$

Поскольку в течение нескольких микросекунд процесс нагружения при соударении грунта с плоским торцом мерного стержня носит ударно-волновой характер, то из закона сохранения импульса, как и в методе В.А. Лагунова и В.А. Степанова, следует, что

$$\sigma_x = \rho_0 D U = \rho_1 C U_1, \quad (3)$$

где ρ_0 и ρ_1 — плотности грунта и материала мерного стержня, D и U — скорость ударной волны и массовая скорость в грунте соответственно, C_1 и U_1 — скорость звука и массовая скорость частиц материала

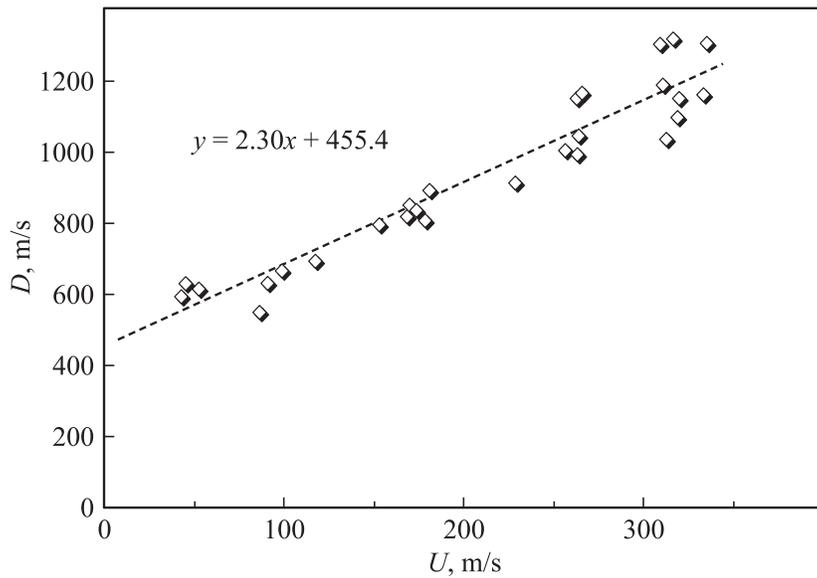


Рис. 2. Ударная сжимаемость сухого песка.

стержня. Массовая скорость частиц песка U близка к скорости удара V_0 и может быть вычислена из соотношения

$$U = V_0 - U_1 = V_0 - \frac{\sigma_x}{\rho_1 C}. \quad (4)$$

Соотношения (3) и (4) дают возможность определить скорость D распространения волны сжатия и массовую скорость U частиц в грунте по измеренному максимальному значению осевых напряжений σ_x и скорости удара V_0 . Проводя эксперименты с различными скоростями удара, можно легко построить ударную адиабату грунта в координатах $D \sim U$.

Нами была проведена серия экспериментов по ударному нагружению песка со средней плотностью 1.72 g/cm^3 . В результате была получена связь между D и U , которая аппроксимируется прямой линией $D = A + B \cdot U$ с параметрами $A = 455 \text{ m/s}$, $B = 2.3$ (рис. 2).

Эти значения близки к результатам В.А. Лагунова и В.А. Степанова [5], а также к данным, полученным нами ранее в плоскостных экспериментах [8]:

Ссылка	Тип грунта	Плотность, г/см ³	A, м/с	B
Данная работа	Песок сухой	1.72	455	2.3
[3]	» »	1.45	511	1.71
[5]	» »	1.66	500	2.4
[8]	Песок сухой, смесь	1.60	500	1.94

Таким образом, предложен достаточно простой, но эффективный способ изучения ударной сжимаемости мягких грунтов.

Работа выполнена при частичном финансировании РФФИ, гранты 04-01-00454 и 04-05-64614а.

Список литературы

- [1] *Алтишулер Л.В., Павловский М.Н.* // ПМТФ. 1971. № 1. С. 171–176.
- [2] *Дианов М.Д., Златин Н.А., Мочалов С.М.* и др. // Письма в ЖТФ. 1976. Т. 2. В. 12. С. 529–532.
- [3] *Tsebelis K., Proud W.G., Vaughan B.A.M., Field J.E.* // Proc. of 14th DYMAT technical meeting „Behavior of materials at high strain rates“. 2002. P. 193–203.
- [4] *Bragov A.M., Grushevsky G.M., Lomunov A.K.* // DYMAT Journal. 1994. V. 1. N 3. P. 253–259.
- [5] *Лагунов В.А., Степанов В.А.* // ПМТФ. 1963. № 1. С. 88–96.
- [6] *Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П.* Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.
- [7] *Баладин В.В., Брагов А.М.* // Прикладные проблемы прочности и пластичности. Методы решения: Всесоюз. межвуз. сб. / Горьк. ун-т. 1991. В. 47. С. 101–104.
- [8] *Брагов А.М., Гандурин В.П., Грушевский Г.М., Ломунов А.К.* // Химическая физика. 1995. Т. 14. № 2–3. С. 126–135.