

ЛИТЕРАТУРА

1. Садовский М. А., Монахов Ф. И., Семенов А. Н. Гидродинамические предвестники Южнокурильских землетрясений.— ДАН СССР, 1977, т. 236, № 1.
2. Косыгин Ю. А., Сергеев К. Ф. и др. Взаимодействие литосферных блоков на Центрально-Сахалинском разломе 7—13 апреля 1979 г.— ДАН СССР, 1979, т. 254, № 3.
3. Сардаров С. С. Приливные деформации коллекторов.— ДАН СССР, 1978, т. 243, № 2.
4. Sterling A., Smets E. Study of earth tides, earthquakes and terrestrial spectroscopy by analysis of the level fluctuations in a borehole at Heibaart (Belgium).— Geophys. J. Roy. Astron. Soc., 1971, vol. 23, p. 225.
5. Киссин И. Г. Землетрясения и подземные воды. М.: Наука, 1982.
6. Николаевский В. Н., Басниев К. С., Горбунов А. Т., Зотов Г. А. Механика насыщенных пористых сред. М.: Недра, 1970.
7. Карслоу Г., Егер М. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964.

Поступила 27/X 1983 г.

УДК 624.131 + 539.215

КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЯЗКОСТИ ГРУНТОВ ПРИ УДАРНЫХ НАГРУЖЕНИЯХ

Н. В. ЕГОРОВА, В. Г. ЧЕРНЫЙ, Г. И. ЧЕРНЫЙ

(Киев)

Приведены опытные данные по коэффициентам объемной вязкости грунтов при ударных нагрузениях со скоростями σ от квазистатических до $2 \cdot 10^{10}$ Па/с при величине нагрузки до $2 \cdot 10^8$ Па. В литературе [1] приводились данные по коэффициентам вязкости некоторых грунтов (песков), однако эти данные недостаточно полны, а методика их определения [2] имеет ряд недостатков.

На установке ударного динамического сжатия при нагружении в условиях простого деформированного состояния были испытаны образцы четырех типов грунтов, данные о которых приведены в табл. 1.

Методика экспериментов принята аналогично [2]. Для расчета коэффициентов вязкости использована модель упруговязкопластической среды, описанная в [3] формулой

$$(1) \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = Q [\sigma - f(\varepsilon)] + \begin{cases} \frac{1}{E(\varepsilon)} \frac{\partial \sigma}{\partial t}, \frac{\partial \sigma}{\partial t} \geq 0, \\ \frac{1}{E^*(\sigma, \varepsilon)} \frac{\partial \sigma}{\partial t}, \frac{\partial \sigma}{\partial t} < 0, \end{cases}$$

де σ — напряжение; ε — деформация и t — время при одноосном деформировании в условиях простого деформированного состояния; Q — функция, характеризующая вязкость. Функция Q зависит от двух параметров λ и μ :

$$Q = \mu[\sigma - f(\varepsilon)]^\lambda.$$

В предельных режимах нагружения

$$\sigma = f(\varepsilon) \quad \text{при } \sigma \rightarrow 0,$$

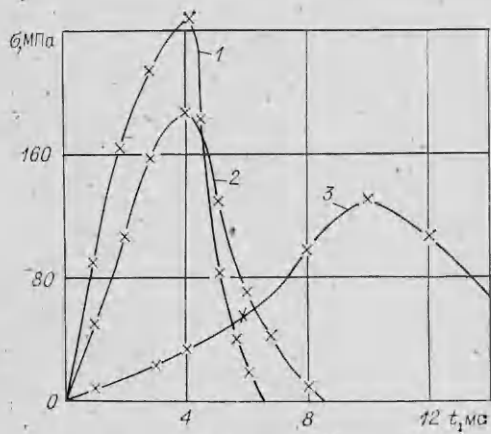
$$\varepsilon = \sigma/E(\varepsilon) + C \quad \text{при } \sigma \rightarrow \infty,$$

при разгрузке $\varepsilon = \sigma/E^*(\sigma, \varepsilon) + C(\varepsilon)$.

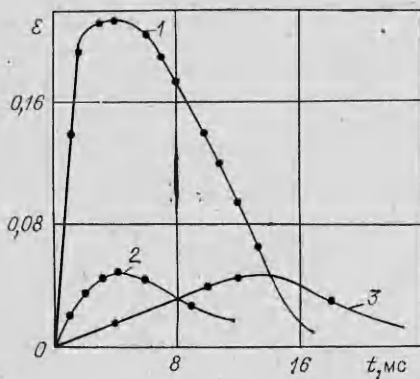
Методика определения коэффициентов вязкости была принята следующей: 1) определялись величины $\partial \varepsilon / \partial t$ и $\partial \sigma / \partial t$ методом численного дифференцирования, для чего предварительно строились экспериментальные зависимости $\sigma = \sigma(t)$ и $\varepsilon = \varepsilon(t)$;

Таблица 1

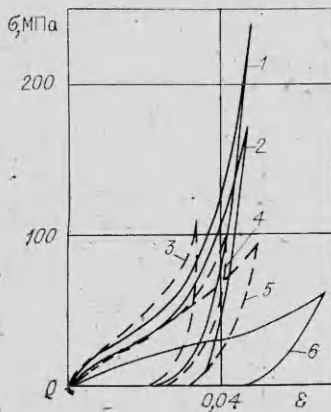
Грунт	Плотность, г/см ³	Весовая влажность, %	Пористость, %	Объемная масса, г/см ³	Объемная масса скелета, г/см ³
Глина	2,73	16,2	34,8	1,88	1,78
Супесь	2,68	6,8	33,4	1,96	1,65
Песок	2,65	7,9	41,8	1,65	1,52
Лесс	2,65	8,2	47,2	1,52	1,40



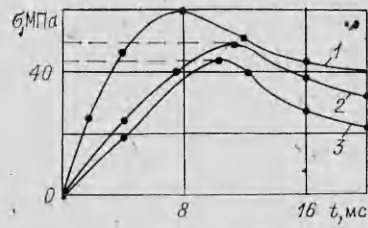
Ф и г. 1



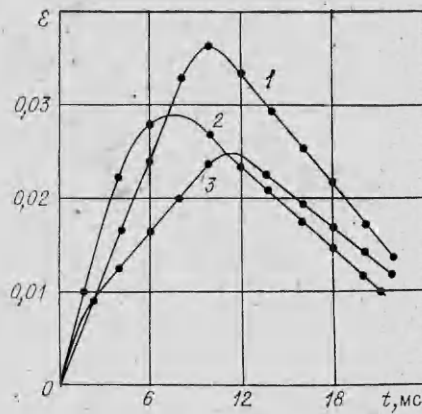
Ф и г. 3e



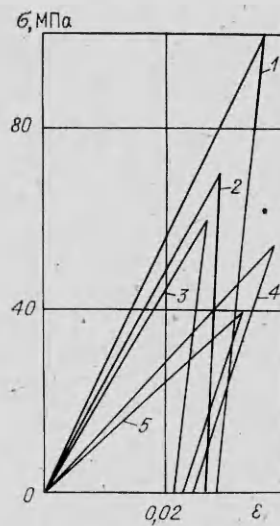
Ф и г. 5



Ф и г. 2



Ф и г. 4



Ф и г. 6

2) определялись модуль квазистатического $f(\epsilon)$ и предельного динамического $E(\epsilon)$ нагружений по данным диаграмм одноосного деформирования грунта $\sigma \sim \epsilon$; 3) параметры μ и λ , определяющие вязкость, были найдены по способу наименьших квадратов.

От методики расчетов, изложенной в [3], принятая методика отличалась тем, что были устранены априорные вычисления модулей, характеризующих разгрузку и предельные режимы нагружения, исключены большие погрешности при вычислении производных по касательным и громоздкие вычисления с применением ЭВМ для определения коэффициентов μ и λ методом случайного поиска.

Результаты экспериментов в форме коэффициентов μ и λ для всех грунтов даны в табл. 2. Промежуточные результаты (графики $\sigma(t)$, $\epsilon(t)$ и $\sigma(\epsilon)$) даны для двух типов грунтов: глины (фиг. 1, 3, 5) и песка (фиг. 2, 4, 6).

Таблица 2

рунт	λ	μ
Супесь	0,30	0,0380
Лесс	0,55	0,0076
Песок	0,16	0,0008
Глина	0,22	0,0095

На каждой из фиг. 1—4 имеются по три графика, соответствующих различным скоростям динамического нагружения. На фиг. 1, 3 линии 1—3 соответствуют скоростям нагружения $2 \cdot 10^{10}$; $4,67 \cdot 10^9$; $1,85 \cdot 10^9$ Па/с; на фиг. 2, 4 — 8,36; 4,35; $4,28 \cdot 10^8$ Па/с.

На фиг. 5, 6 приведенные графики также соответствуют различным скоростям нагружения. На фиг. 5 кривая 1 — предельное динамическое напряжение, скорость $2 \cdot 10^{10}$ Па/с; 2—5 соответственно 4,67; 4,47; 1,85; $0,74 \cdot 10^9$ Па/с; 6 — квазистатическое нагружение. На фиг. 6 кривые 1—4 соответ-

ственно 22,0; 8,36; 4,35; $4,28 \cdot 10^8$ Па/с; 5 — квазистатическое нагружение. Анализ данных табл. 2 показывает, что функция, определяющая вязкость грунта, изменяется в больших пределах. Максимальную величину она имеет у лесса, минимальную — у песка.

Значения коэффициента λ , изменяющиеся в небольшом интервале, подтверждают существенную нелинейность уравнения состояния (1).

Сравнение полученных результатов с результатами [1] для пыльных грунтовых условий и при применении несколько отличной от принятой в данной работе методики последований показывает, что параметр λ мало зависит от грунтовых условий и от методики: как у нас, так и в [1] он находится в пределах $0 \leq \lambda \leq 1$.

В то же время коэффициент μ в большей мере подвержен колебаниям, зависящим главным образом от влажности грунта, а также от пористости и гранулометрического состава. По нашим данным этот коэффициент значительно ниже, чем по данным [1]. Между влажностью грунта и коэффициентом μ установлена прямая корреляционная связь. Коэффициент корреляции составляет 0,95.

Для оценки точности определения параметров вязкости μ и λ были произведены оценочные расчеты средней ошибки определения этих величин как функций непосредственно измеряемых величин. Для этого использована формула средней квадратической ошибки m_φ функции φ нескольких аргументов (x, y, z, \dots) [4]:

$$m_\varphi = \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y}\right)^2 m_y^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2 m_z^2 + \dots}$$

При расчете принята средняя квадратическая ошибка определения текущей и предельной динамических диаграмм одноосного динамического сжатия, равная 0,15—0,18, а предельной статической 0,08—0,1.

Расчетная величина средней квадратической ошибки определения коэффициента μ составила 0,22—0,26, а показателя λ 0,25—0,29.

Предельные относительные отклонения определения этих величин по единичным исходным данным составляют (с вероятностью до 0,99) 0,44—0,58, а при двойном повторении измерений исходных величин 0,3—0,4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нарожная З. В., Рыков Г. В. О методе и результатах определения механических характеристик грунтов с учетом их вязкопластических свойств при кратковременных динамических нагрузках. — ПМТФ, 1977, № 5.
2. Котов А. И., Нарожная З. В. и др. Экспериментальные исследования сжимаемости песчаных грунтов и условия пластичности при кратковременных динамических нагрузках. — ПМТФ, 1976, № 5.
3. Рыков Г. В., Скобеев А. М. Измерение напряжений в грунтах при кратковременных нагрузках. М.: Наука, 1978.
4. Романов В. А. Теория ошибок и способ наименьших квадратов. М.: Углетехиздат, 1952.

Поступила 18/X 1983 г.