

$\lambda$ по МРБ	Расхождение с МР, %	$\lambda$ по МР [6]	$\lambda$ по МДКЭ	Расхождение с МР, %	$\lambda$ по МРБ	Расхождение с МР, %	$\lambda$ по МР [6]	$\lambda$ по МДКЭ	Расхождение с МР, %
13,97	3,6	13,47	11,31	19,1	64,71	1,6	63,69	60,93	4,5
22,21	3,5	21,98	22,21	3,5	74,46	1,3	73,51	71,86	2,3
35,95	3,2	34,81	33,01	5,4	106,99	1,4	105,31	103,31	2,1

ным МДКЭ приведены в таблице (при  $\nu = 0,3$ ). Необходимо отметить, что в решении, полученном МР [6], в рядах удерживалось по шесть членов, поэтому результат вычисления основного тона обладает, по-видимому, высокой точностью.

Сравнение показывает, что настоящая методика позволяет существенно уточнить результат, найденный методом Болотина для первой частоты. Применение МРБ и МДКЭ, дающих соответственно верхнюю и нижнюю оценки для собственных значений, для высших форм позволяет получать достаточно узкие границы промежутка, в котором находятся собственные частоты. С ростом номера формы оба решения асимптотически приближаются к точному.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болотин В. В. Случайные колебания упругих систем. — М.: Наука, 1979.
2. Болотин В. В., Макаров Б. П. и др. Асимптотический метод исследования спектра собственных частот упругих пластинок // Расчеты на прочность. — 1960. — Вып. 6.
3. Кудрявцев Е. П. Применение асимптотического метода для исследования собственных колебаний упругих прямоугольных пластин // Расчеты на прочность. — 1964. — Вып. 10.
4. Корнев В. М., Мулькибаев А. О. Асимптотические свойства колебаний защемленной прямоугольной пластины. Формулировка укороченной задачи // ПМТФ. — 1987. — № 2.
5. Vijayakumar K., Ramaiah G. K. Analysis of vibration of clamped square plates by the Rayleigh — Ritz method with asymptotic solution from a modified Bolotin method // J. Sound Vibr. — 1978. — V. 56, N 71.
6. Гонткевич В. С. Собственные колебания пластинок и оболочек. — Киев: Наук. думка. — 1964.

Поступила 12/X 1987 г.

УДК 624.131+539.215

### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ДИАГРАММ СЖАТИЯ ДЛЯ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ И ГЛИНЫ

Г. В. Рыков  
(Москва)

В [1, 2] описан метод определения предельных динамических диаграмм сжатия, соответствующих мгновенному нагружению ( $\epsilon = \infty$ ), для грунтов и пористых сред, чувствительных к скорости деформирования. Метод основан на связи скоростей распространения слабых возмущений с предельной динамической диаграммой  $\varphi(\epsilon)$  при сжатии вязкопластической среды. Однако фактические данные по определению диаграмм  $\varphi(\epsilon)$  в [1, 2] получены только для воздушно-сухого песчаного грунта. Ниже приводятся результаты экспериментальных исследований по определению таких диаграмм для песчаных грунтов различной влажности, а также для плотных глин.

Предполагается аналогично [1, 2], что основные свойства песчаных и глинистых грунтов при кратковременных динамических нагрузках с достаточной точностью описываются при одноосном сжатии (в условиях

плоской деформации) законом деформирования

$$(1) \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{1}{E(\sigma_1, \varepsilon)} \frac{\partial \sigma_1}{\partial t} + g(\sigma_1 - f(\varepsilon)), \quad E(\sigma_1, \varepsilon) = \begin{cases} E(\varepsilon), & \frac{\partial \sigma_1}{\partial t} \geq 0, \\ E_*(\sigma_1, \varepsilon), & \frac{\partial \sigma_1}{\partial t} < 0, \end{cases}$$

где  $\sigma_1$  — наибольшее главное напряжение;  $E(\varepsilon)$ ,  $E_*(\sigma_1, \varepsilon)$  — функции, определяемые экспериментально при нагружении ( $\partial \sigma_1 / \partial t \geq 0$ ) и разгрузке ( $\partial \sigma_1 / \partial t < 0$ );  $g(z) > 0$  при  $z = \sigma_1 - f(\varepsilon) > 0$  и  $g(z) \equiv 0$  при  $z \leq 0$ ;  $f(\varepsilon)$  — статическая диаграмма сжатия среды при  $\dot{\varepsilon} \rightarrow \infty$ .

Как показано в [2], для среды типа (1) связь скоростей распространения малых возмущений  $c(\varepsilon)$  и предельной динамической диаграммы  $\varphi(\varepsilon)$  ( $\dot{\varepsilon} = \infty$ ) при нагружении определяется соотношением

$$(2) \quad E(\varepsilon) = \frac{d\varphi(\varepsilon)}{d\varepsilon} = \rho_0 c^2(\varepsilon)$$

( $\rho_0$  — начальная плотность среды). Из (2), интегрируя, получим предельную динамическую диаграмму

$$(3) \quad \varphi(\varepsilon) = \int_0^\varepsilon E(\xi) d\xi, \quad \dot{\varepsilon} = \infty.$$

Таким образом, зная из эксперимента зависимость  $c(\varepsilon)$ , можно построить предельную динамическую диаграмму  $\varphi(\varepsilon)$  ( $\dot{\varepsilon} = \infty$ ) при нагружении.

Испытания проводились на установке УДН-150 [1, 2], дооборудованной системой измерения скорости распространения слабых возмущений в сжатой среде. Последние создавались, как и в [1], за счет удара по подвижному блоку в поршне установки падавшего груза массой 100 г. Подвижный блок включал в себя пьезодатчик, регистрировавший момент удара по верхней поверхности образца. Приход слабого возмущения к нижней поверхности образца фиксировался пьезодатчиком, установленным в донной части установки.

Для определения зависимости  $c(\varepsilon)$  образец грунта подвергался статическому нагружению нагрузкой  $\sigma_{1i}$ , изменяемой ступенями ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). При этом регистрировались статическая деформация  $\varepsilon_i$  и соответствующее ей время  $t_i = t(\varepsilon_i)$  пробега волной слабого разрыва расстояния, равного высоте образца после нагружения  $h_i = h(\varepsilon_i)$ . При достаточно малой высоте образца скорость распространения слабого разрыва  $c(\varepsilon_i)$  определялась как средняя  $c(\varepsilon_i) = h_i / t_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Испытаниям подвергались песчаный грунт с плотностью в воздушно-сухом состоянии  $\rho_0 = 1,48-1,50$  г/см<sup>3</sup> при влажности  $w = 0,05; 0,10; 0,15$ , а также плотная глина с  $\rho_0 = 1,70-1,75$  г/см<sup>3</sup> и  $w = 0,20-0,22$ .

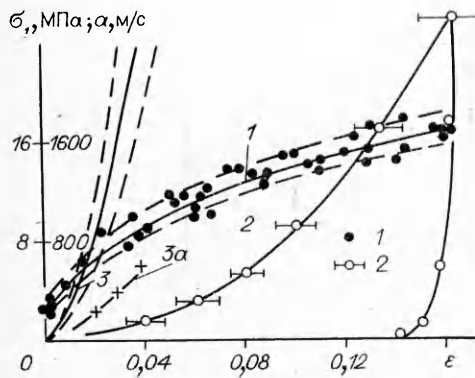


Рис. 1

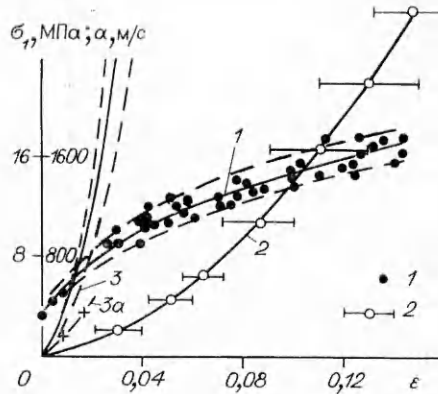
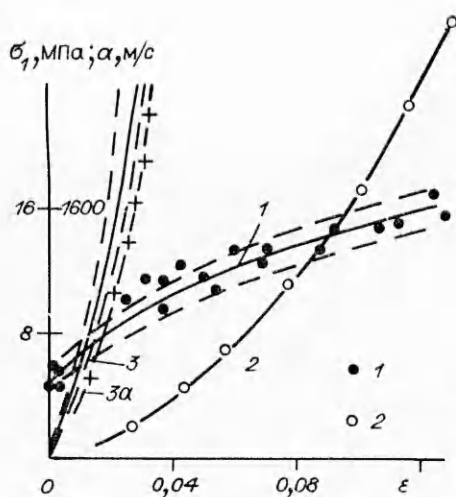
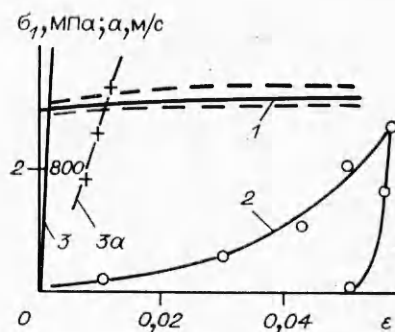


Рис. 2



Р и с. 3



Р и с. 4

Гранулометрический состав грунтов тот же, что в [2]. При испытаниях образцов песчаного грунта навеска последнего, соответствующая заданной плотности и влажности, укладывалась в специальное кольцо установки УДН-150 [2]. Глина доставлялась в лабораторию в виде ненарушенных запарафинированных монолитов кубической формы с ребром 20 см. Из этого монолита с помощью специального кольцевого ножа, соединенного с блоком из пяти колец, вырезалось одновременно пять образцов, которые испытывались в одинаковых условиях. Во всех случаях грунты привозились с тех же испытательных площадок, где проводились полевые эксперименты [2].

Результаты испытаний песчаного грунта представлены на рис. 1—3 для  $w = 0,05; 0,10; 0,15$  соответственно, а глины — на рис. 4. Здесь кривые 1—3 и точки 1, 2 отвечают  $c(\epsilon), f(\epsilon), \varphi(\epsilon)$ . Для сравнения на рис. 1—4 приведены кривые 3a — предельные динамические диаграммы  $\varphi(\epsilon)$  ( $\epsilon = \infty$ ), полученные с использованием соотношений на фронте ударной волны в полевых опытах [2].

Экспериментальные зависимости  $c(\epsilon)$  и  $f(\epsilon)$  для всех случаев с достаточной точностью могут быть аппроксимированы в виде

$$(4) \quad c(\epsilon) = c_0 (1 + m_1' \epsilon^{v_1})^{1/2}, \quad m_1' = m_1 v_1;$$

$$(5) \quad f(\epsilon) = K_1 (\epsilon + m_2 \epsilon^2)$$

( $K_1, m_1, v_1, m_2, v_2$  — экспериментальные коэффициенты (см. таблицу)). Диапазон применимости зависимостей (5), (6) для песка  $0 \leq \epsilon \leq 0,12-0,14$ , для глины  $0 \leq \epsilon < 0,06$ .

Наименование грунта или материала	$c_0, \text{ м/с}$	$\varphi(\epsilon)$		$f(\epsilon)$						
		$E_1 \cdot 10^{-2}, \text{ МПа}$	$\frac{m_1}{v_1}$	$K_1 \cdot 10^{-2}, \text{ МПа}$	$\frac{m_2}{v_2}$					
Глина $\rho_0 = 1,70-1,75 \text{ г/см}^3$ $w = 0,20-0,22$	1189	31,5	$\frac{0,60}{1,66(+0,23)}$	0,400	$\frac{2,6 \cdot 10^3}{3,0}$					
Песок $\rho_0 = 1,50 \text{ г/см}^3$ $w = 0,05$	250	1,00	$\frac{137,3}{1,96(\pm 0,084)}$	0,150	$\frac{116,6(+5,9)}{2,37(\pm 0,11)}$					
					$w = 0,10$	350	1,838	$\frac{70,00}{1,89(+0,077)}$	0,350	$\frac{19,1(+1,8)}{1,77(+0,18)}$
					$w = 0,15$	460	3,216	$\frac{35,1}{1,83(\pm 0,081)}$	0,400	$\frac{15,6(+3,8)}{1,67(\pm 0,37)}$

Предельные динамические диаграммы  $\varphi(\epsilon)$  определяются из (3), (4) в виде  $\varphi(\epsilon) = E_1 (\epsilon + m_1 \epsilon^{n_1})$ ,  $E_1 = \rho_0 c_0^2$  ( $E_1$  — динамический модуль упругости грунта (см. таблицу)).

Сравнение полученных в экспериментах предельных динамических диаграмм  $\varphi(\epsilon)$  (кривые  $\mathcal{B}$ ) с аналогичными диаграммами, найденными для тех же грунтов в полевых экспериментах с использованием соотношений на фронте ударной волны (кривые  $\mathcal{B}a$ ), свидетельствует о наличии существенных различий между ними (за исключением данных для песка с  $w = 0,15$ ). Эти различия связаны главным образом с недостаточной точностью метода определения диаграмм  $\varphi(\epsilon)$  в полевых условиях. При этом точность здесь зависит не только от точности прямых измерений параметров полей напряжений, но также в значительной степени от точности определения скорости распространения фронта ударной волны в грунте по экспериментальным результатам о траектории ее движения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Котов А. И., Рыков Г. В. О методе определения предельных динамических диаграмм сжатия для грунтов и пористых сред, чувствительных к скорости деформирования // ПМТФ.— 1977.— № 2.
2. Рыков Г. В., Скобеев А. М. Измерение напряжений в грунтах при кратковременных нагрузках.— М.: Наука, 1978.

Поступила 6/X 1987 г.