

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ляхов Г. М. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах. — М.: Наука, 1982.
2. Ляхов Г. М. Определение вязких свойств грунта // ПМТФ. — 1968. — № 4.
3. Белинский И. В., Михалюк А. В., Христофоров Б. Д. Вязкость горных пород при деформационных процессах // Изв. АН СССР. Физика Земли. — 1975. — № 8.
4. Вовк А. А., Михалюк А. В., Черный Г. И. Действие крупномасштабных взрывов в массиве горных пород. — Киев: Наук. думка, 1974.
5. Vinson T. S. Parameter effects on dynamic properties of frozen soils // Proc. ASCE. J. Geotechn. Engng Div. — 1978. — V. 104, N 10.
6. Chaikowski R. L., Vinson T. S. Dynamic properties of frozen silt under cyclic loading // Proc. ASCE. J. Geotechn. Engng Div. — 1980. — V. 106, N 9.
7. Коган С. Я. Сейсмическая энергия и методы ее определения. — М.: Наука, 1975.
8. Рыков Г. В., Скобеев А. М. Измерение напряжений в грунтах при кратковременных нагрузках. — М.: Наука, 1978.
9. Ляхов А. Г. Взаимодействие волны в многокомпонентной двухфазной среде с преградой // Изв. АН СССР. МЖГ. — 1981. — № 3.
10. Михалюк А. В. Горные породы при неравномерных динамических нагрузках. — Киев: Наук. думка, 1980.
11. Голд Л., Спиха Н. Реологическое поведение льда при малых деформациях // Физика и механика льда. — М.: Мир, 1983.
12. Нефедов В. В. Плоские волны в нелинейных вязких многокомпонентных средах // ПМТФ. — 1987. — № 6.
13. Крымский А. В., Ляхов Г. М. Волны при подземном взрыве // ПМТФ. — 1984. — № 4.
14. Григорян С. С., Крымский А. В., Ляхов Г. М. Вопросы подобия волн в пористых многокомпонентных средах // Изв. АН СССР. МТГ. — 1985. — № 6.
15. Ляхов Г. М., Лучко И. А., Плаксий В. А. и др. Сферические взрывные волны в твердой многокомпонентной вязкопластической среде // Прикл. механика. — 1986. — № 5.

г. Москва

Поступила 31/V 1988 г.,  
в окончательном варианте — 29/XII 1988 г.

УДК 624.131+539.215

*А. Ф. Новгородов, Г. В. Рыков, А. Н. Шейнин*

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЖИМАЕМОСТИ ГРУНТОВ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

В [1, 2] представлены результаты экспериментальных исследований песчаных грунтов различной влажности и плотной глины при кратковременных динамических нагрузках, снабженные необходимыми статистическими характеристиками точности и надежности, которые, как показано в [2, 3], существенны для дальнейших количественных оценок вязкопластических свойств этих сред. В проведенных опытах каждый из изученных грунтов подвергался динамическим испытаниям только при одном режиме деформирования.

Ниже приводятся результаты дополнительных исследований тех же грунтов, проводившихся при режимах деформирования, отличных от описанных в [1, 2]. Кроме того, нами впервые использовалась специально разработанная автоматизированная система сбора и обработки измерительной информации, что позволило не только существенно ускорить процесс обработки результатов измерений, но и повысить их точность (в частности, при испытаниях образцов глины).

1. Экспериментальным исследованиям подвергались образцы плотной глины ненарушенной структуры с массовой плотностью скелета  $\rho_0 = 1,70 \text{ г/см}^3$ , весовой влажностью  $w = 0,22$ , а также песчаный грунт с  $\rho_0 = 1,50\text{--}1,52 \text{ г/см}^3$ ,  $w = 0,05$  того же гранулометрического состава, что и в [1, 2]. Глина, как и в [2], доставлялась в лабораторию в виде запарафинированных монолитов ненарушенной структуры, из которых затем вырезались образцы для испытаний, проводимых в установке квазистатического типа УДН-150 [1, 2]. Установка в общем виде представляет вер-

тикально стоящий цилиндр, на дне которого в специальном кольце располагается испытываемый образец. Внутренний диаметр кольца 150 мм, высота 30 мм. Нагрузка на образце передается через поршень, который воспринимает удар падающего на копре груза массой 100 кг. В поршне, днище и кольце устанавливаются тензометрические датчики для измерения напряжений. Вопросы их конструкции и оценка точности рассмотрены в [2, 3]. Измеряются также общее усилие на образец, передаваемое при ударе груза (с помощью тензометрического стакана), и вертикальные перемещения поршня (с помощью реохордных датчиков). Деформация образца определяется затем из соотношения  $\epsilon = u/h_0$  ( $h_0$  — первоначальная высота образца).

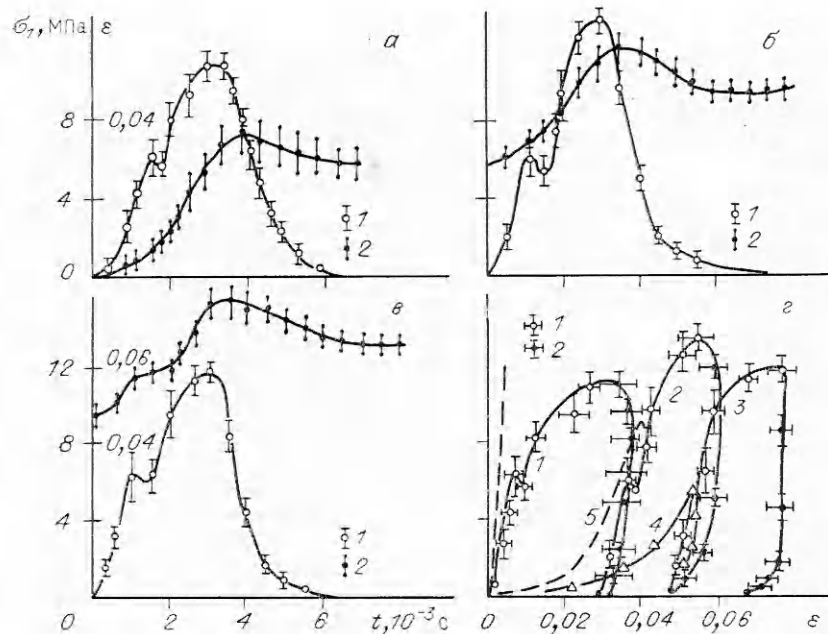
Применявшаяся при испытаниях автоматизированная система «Парус» — это комплекс средств методического, технического, программного и информационного обеспечения, организованных на базе миниЭВМ СМ-4, и аппаратных средств сопряжения. Система «Парус» состоит из двух подсистем — регистрации и обработки. Подсистема регистрации, кроме различного типа датчиков и соответствующих согласующих устройств (усилителей), включает регистраторы, в качестве которых использовались магнитографы — отечественные типа НО-47 и импортные типа 7003 (Дания). Число каналов в системе 50—60. Частотный диапазон определяется характеристиками датчиков, усилителей и магнитографов и находится в пределах 7—12 кГц. Связь подсистемы регистрации с ЭВМ осуществляется через специально разработанное устройство ввода аналоговых сигналов РМ-10, представляющее десятиканальный аналого-цифровой преобразователь с буферной памятью объемом 4096 десятиразрядных слов на канал, со встроенным управляющим микропроцессором и дисплеем [5]. Это устройство позволяет также производить экспресс-обработку измерительной информации с выводом ее на двухкоординатный самописец типа Н-306 или на трехцветный графический дисплей с цифровой индикацией параметров. Результаты измерений накапливались в памяти ЭВМ по мере проведения экспериментов, а затем производилась статистическая обработка кратковременных процессов во времени с определенным шагом дискретизации по методике, изложенной в [2]. Подсистема обработки включает математическое обеспечение ввода и вывода экспериментальной информации, машинной обработки экспериментальных данных и их архивизации [5].

Образцы грунта подвергались трех- и пятикратному нагружению. В каждой серии испытывалось по пять образцов. Все параметры в опытах измерялись с помощью трех датчиков.

2. На рис. 1 представлены результаты обработки экспериментальных данных для плотной глины при трехкратном нагружении. Кривые рис. 1, *a—в* соответствуют изменению во времени напряжений  $\sigma(t)$  и деформаций  $\epsilon(t)$  при первом, втором и третьем нагружениях. Кривые 1—3 рис. 1, *г* — зависимости  $\sigma(\epsilon)$ , построенные путем исключения времени из зависимостей  $\sigma(t)$ ,  $\epsilon(t)$  рис. 1, *a—в*. Каждая из экспериментальных точек на рис. 1 — среднее значение по результатам 15 измерений. При обработке в каждый момент времени проводилась проверка гипотезы о нормальном распределении параметра с помощью *W*-критерия Уилка [2].

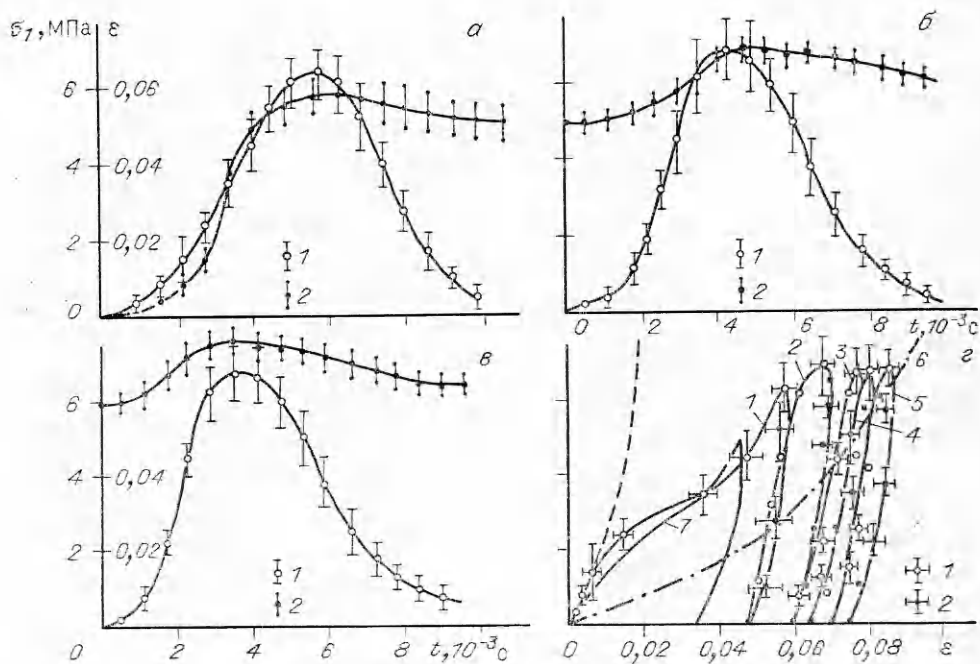
При оценке точности экспериментальных результатов, как и в [1, 2], использовался метод доверительных интервалов, которые определялись с надежностью 0,95. Кривые 1 и точки 1 на рис. 1, *a—в* отвечают зависимостям  $\sigma(t)$ , 2 —  $\epsilon(t)$ , точки 1 и 2 рис. 1, *г* — нагружению и разгрузке. Кривая 4 рис. 1, *г* — статическая диаграмма сжатия  $f(\epsilon)$  ( $\epsilon = 1 \cdot 10^{-5}$  1/с), штриховая линия — предельная динамическая диаграмма  $\varphi(\epsilon)$  при мгновенном нагружении ( $\epsilon = \infty$ ) по данным, приведенным в [4] для того же грунта.

Сравнение данных рис. 1 с результатами испытаний в [2] свидетельствует прежде всего о значительно более высокой точности результатов. Относительный доверительный интервал  $\delta$ , осредненный по времени для трех



Р и с. 1

нагружений, составляет здесь 0,08—0,10. В [2]  $\delta$  находилась в пределах 0,15—0,20. Необходимо также отметить, что средняя скорость деформирования в проведенных опытах при первом нагружении  $\dot{\epsilon} = 12$  1/с, а в [2]  $\dot{\epsilon} = 4,1$  1/с. Соответственно кривая 1 на рис. 1, г идет существенно выше кривой 5, полученной в [2] при первом нагружении. Таким образом, видно, что увеличение скорости деформирования в гле приводит к существенному увеличению напряжений при одних и тех же деформациях, которые продолжают расти (при тех же напряжениях) при повторных нагружениях



Р и с. 2

(кривые 2, 3 рис. 1,  $\varepsilon$ ). При всех нагружениях заметен рост деформаций на участке разгрузки по напряжениям, а также различие кривых нагружения и разгрузки при  $\sigma < f(\varepsilon)$ .

На рис. 2,  $a - \varepsilon$  представлены результаты статистической обработки экспериментальных данных для песчаного грунта при пятикратном нагружении. Кривые рис. 2,  $a - \varepsilon$  иллюстрируют зависимости  $\sigma(t)$  и  $\varepsilon(t)$  при первых трех нагружениях, кривые 1—5 рис. 2,  $\varepsilon$  — зависимости  $\sigma(\varepsilon)$  при пяти нагружениях. Каждая из экспериментальных точек, как и ранее, — среднее по результатам 15 измерений. Доверительные интервалы определены с надежностью 0,95. Кривая 6 рис. 2,  $\varepsilon$  — статическая диаграмма сжатия  $f(\varepsilon)$  ( $\dot{\varepsilon} = 0,5 \cdot 10^{-5}$  1/с), штриховая линия — предельная динамическая диаграмма  $\varphi(\varepsilon)$  для того же грунта по [4]. Средний доверительный интервал в опытах составил  $\delta = 0,10 - 0,15$  и практически не отличался от [1, 2]. Средняя скорость деформации при первом нагружении находилась в пределах  $\dot{\varepsilon} = 10$  1/с и также практически не отличалась от испытаний в [1, 2]. Соответственно и кривая  $\sigma(\varepsilon)$  (7), полученная в [1, 2] при первом нагружении, лежит в пределах доверительных интервалов кривой 1 рис. 1,  $\varepsilon$ . Как и в предыдущем случае, видно, что при повторных нагружениях при практически одинаковых напряжениях максимальные деформации растут, что подтверждает существенность влияния эффектов вязкости на деформативность песчаных грунтов естественной влажности.

Приведенные результаты представляются особенно важными с точки зрения дальнейшего уточнения количественных оценок механических характеристик грунтов при кратковременных динамических нагрузках в рамках вязкопластических моделей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Котов А. И., Нарожная З. В., Рыков Г. В., Сутырин В. П. Экспериментальные исследования сжимаемости песчаных грунтов и условия пластичности при кратковременных динамических нагрузках // ПМТФ. — 1976. — № 5.
2. Рыков Г. В., Скобеев А. М. Измерение напряжений в грунтах при кратковременных нагрузках. — М.: Наука, 1978.
3. Нарожная З. В., Рыков Г. В. О погрешностях измерения напряжений при кратковременных нагрузках // ПМТФ. — 1972. — № 4.
4. Рыков Г. В. Результаты определения предельных динамических диаграмм сжатия для песчаных грунтов и глины // ПМТФ. — 1988. — № 6.
5. Рыков Г. В., Новгородов А. Ф., Шейнин А. Н., Передерий В. В. Автоматизированная система сбора и обработки измерительной информации «Парус-2» // Приборы и системы управления. — М., 1988. — № 9.

г. Москва

Поступила 22/IX 1988 г.,  
в окончательном варианте — 2/XII 1988 г.

УДК 624.131+539.215

И. Н. Бычков, Г. В. Рыков, И. А. Самсонова

#### К ВОПРОСУ О МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ГРУНТОВ С УЧЕТОМ ИХ ВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

В [1, 2] изложены метод и результаты определения механических характеристик грунтов с учетом их вязкопластических свойств при кратковременных динамических нагрузках. Фактические количественные характеристики достаточно обоснованы только применительно к однократному нагружению.

Ниже излагаются результаты определения механических характеристик песчаных и глинистых грунтов с учетом их циклического нагружения. При этом потребова-

© 1990 Бычков И. Н., Рыков Г. В., Самсонова И. А.

9 ПМТФ № 3, 1990 г.

129