

գտնվող վերահսկվող կետերի բարձրությունների դիստանցիոն բարձր ճշտության չափումների համար:

Նկարագրված են Ռովնոյի ԱԷԿ-ում երեք նման համակարգերի արդյունաբերական փորձարկումների և ներդրման արդյունքները, որի շնորհիվ տարեկան տնտեսական օգուտը կազմում է 180 հազար ուրլի: Եզրակացություն է արված երկրի տարրեր օբյեկտներում այդպիսի համակարգերի տեղադրման անհրաժեշտության վերաբերյալ:

R. R. SINANIAN, F. A. PALIKIAN

## COMMERCIAL TESTS AND INTRODUCTION OF AN IMPROVED SYSTEM OF HYDRODYNAMICAL LEVELLING IN THE ROVNO AES

### Abstract

The general information and technical characteristics of developed and produced in the Yerevan polytechnical institute the Improved system of hydrodynamical levelling for remoted and high-precise measurement of building foundations and installations controlled points height positions are brought in this paper.

The results of commercial tests and introduction of three of such systems in the Rovno AES are described.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мовсисян Р. А., Таплашвили И. А., Варданян В. Н. Способ гидродинамического нивелирования—Ас 480906 (СССР). — Оpubл. в Б. И., 1975, № 30.
2. Мовсисян Р. А., Бархударян А. М. Теоретические основы гидродинамического нивелирования. — Изв. ВУЗ-ов, Геодезия и аэрофотосъемка. 1976, № 1, с. 9—14.
3. Мовсисян Р. А., Погосян А. Г., Бабаян Г. А., Джентереджян А. Г. Система гидродинамического нивелирования. А. с. 1106989 (СССР). Оpubл. в Б. И.,—1964, № 29.
4. Синанян Р. Р., Бабаян Г. А., Таплашвили И. А. Экспериментальные исследования системы гидродинамического нивелирования с полным циклом измерений. В кн.: Проблемы инженерной геодезии. Ереван: 1983, с. 34—41.
5. Трозян К. Р. Определение превышения точек с помощью гидродинамического нивелирования. — Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1980, XXXIII, № 6, с. 96—102.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, № 5, 69—74

УДК: 624. 131

### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

С. Р. МЕСЧЯН, Т. Л. ПЕТРОСЯН

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО ДЕКРЕМЕНТА КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ КОМПРЕССИИ

Под внутренним трением [7] в не вполне упругих материалах понимают необратимые в энергетическом отношении процессы, сопровождающие циклическое деформирование тел. Необратимость этих процессов характеризуется тем, что часть энергии деформации за каждый цикл преобразуется в тепло и, в конечном счете, рассеивается.

Потребление определенной энергии на поддержание установившихся колебаний тела (как известно, для этого при идеально упругом теле не требуется потребления энергии), повышение его температуры и отдача тепла в окружающую среду, образование петли гистерезиса

резиса, представляющей собой нелинейную неоднозначную зависимость между напряжением и деформацией за цикл, ограничение роста амплитуды резонансных колебаний тела при действии возмущающей силы постоянной амплитуды, затухание свободных колебаний тела (уменьшение амплитуды колебаний со временем), затухание плоской волны напряжения (уменьшение ее амплитуды с удалением от места возбуждения), сдвиг фаз действующей на тело внешней циклической силы и его циклической деформации представляют различные формы внешнего проявления внутреннего трения в материале при циклических деформациях.

Для разных видов внешнего проявления внутреннего трения за количественную его меру приняты разные величины. Однако удобно иметь основную количественную меру и через нее выражать принятые эквивалентные величины. Следовательно, возникает необходимость исследования конкретных связей между этими эквивалентными величинами

В многочисленных теоретических и экспериментальных работах [5, 1, 2], посвященных исследованию различных явлений (внутреннее рассеяние механической энергии, затухание собственных механических колебаний, последствие и т. д.), которые связаны с упругими несовершенствами реальных тел, в качестве основного соотношения принята формула (1), которая определяется из энергетических соображений и выражает связь между следующими двумя основными характеристиками отклонений механических свойств материалов от идеальной упругости в области обратимых деформаций: логарифмическим декрементом затухания амплитуды колебаний  $\delta$  и относительным рассеянием энергии за один цикл деформирования  $\Delta w/w$  [1]

$$\psi = 2\delta = \frac{\Delta w}{w}, \quad (1)$$

где  $\Delta w$  — площадь петли гистерезиса, характеризующая рассеяние материалов энергии за один цикл деформирования,  $w$  — полная энергия деформации.

Работы Н. Н. Давиденкова (1938) положили начало новому направлению в реологии при периодическом нагружении не вполне упругих твердых тел. Согласно Н. Н. Давиденкова, связь между напряжениями и деформациями, описывающая петлю гистерезиса, можно представить в виде

$$\bar{\sigma} = E \left\{ \epsilon \pm \frac{\nu}{n} |(\epsilon_0 \pm \epsilon)^n - 2^{n-1} \epsilon_0^n| \right\}, \quad (2)$$

где  $E$  — модуль упругости материала,  $\nu$  и  $n$  — геометрические параметры петли гистерезиса, которые определяются для каждого материала экспериментально. По формуле (2) контур петли гистерезиса ограничен дугами параболы, геометрические параметры которых одинаковы, и восходящей и нисходящей ветвями. Используя зависимость (2), получена формула, выражающая связь между логарифмическим декрементом  $\delta$  и геометрическими характеристиками  $\nu$  и  $n$  петли гистерезиса [4].

Грунты, как и другие реальные материалы, не обладают в совершенстве свойствами упругости, и при циклических деформациях зависимость напряжений  $\sigma$  от деформаций  $\epsilon$  для них не является однозначной. Более того, как показали многочисленные проведенные нами опыты на глинистых грунтах, контур петли гистерезиса не ограничен симметричными дугами параболы и, следовательно, связь  $\sigma - \epsilon$  не выражается зависимостью (2).

С целью получения действительных зависимостей  $\sigma - \epsilon$  для глинистых грунтов при одномерном деформировании на участках восходящей и нисходящей ветвей петли гистерезиса и на их основании уста-

новления связи между логарифмическим декрементом затухания  $\delta$  и параметрами  $\nu$  и  $n$ , характеризующими относительное рассеяние энергии  $\Delta w/w$ , выполнена настоящая работа.

Опыты для получения петли гистерезиса проводились на компрессионном приборе М2 [3] с цилиндрическим образцом диаметром  $d=70$  мм и высотой  $h=20$  мм. Для изготовления образцов паста, имеющая влажность  $w=0,35$ , консолидировалась под давлениями  $\sigma_0=0,5, 0,7, 1,0$  МПа. После консолидации пасты образцы имели следующие физические параметры: плотности ( $\rho$ ) 2,05, 2,06, 2,07 г/см<sup>3</sup>, влажность ( $w$ ) 0,222, 0,209, 0,218 и коэффициент пористости ( $e$ ) 0,62, 0,58, 0,55. После полной разгрузки и затухания деформаций декомпрессий, образцы подвергались циклической нагрузке и разгрузке со скоростями  $0,05$  МПа $\times$ 1 мин и  $0,05$  МПа $\times$ 15 с до  $\sigma=0,75\sigma_0$ . Опытами установлено, что после нескольких циклов нагрузки и разгрузки образцов заканчивается переходный процесс образования замкнутой петли и устанавливаются определенные зависимости напряжения от деформаций на участках восходящей и нисходящей ветвей петли гисте-

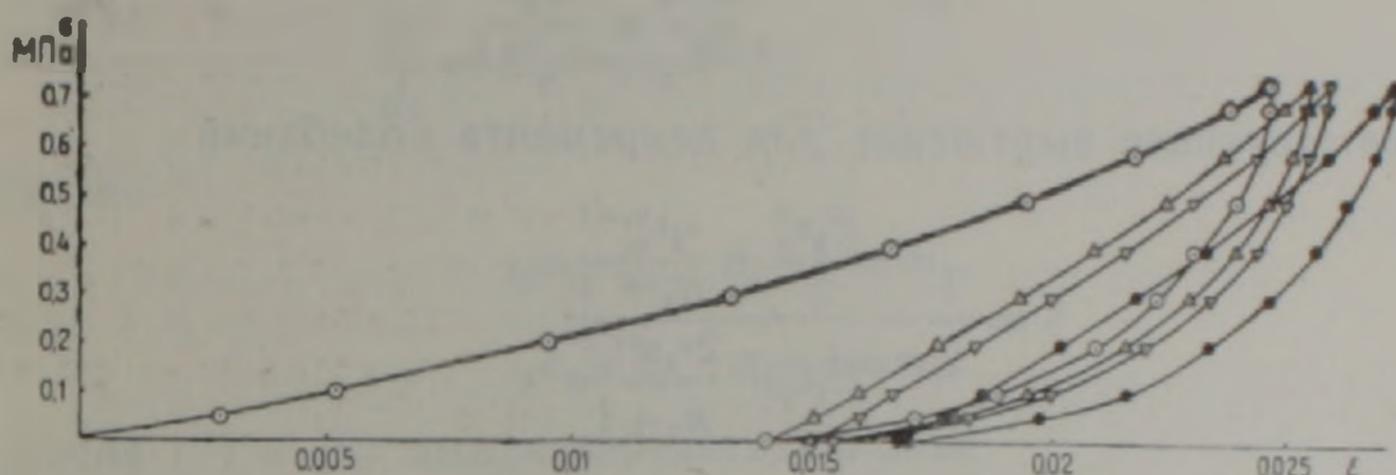


Рис. 1. Процесс образования замкнутой петли гистерезиса грунта при компрессии предварительно уплотненного под давлением  $\sigma_0=1,0$  МПа

резиса (рис. 1). (Отметим, что в качестве примера на рисунках приведены диаграммы, полученные для одного состояния грунта ( $\sigma_0=1,0$  МПа при одном значении скорости нагружения  $0,05$  МПа $\times$ 1 мин). Для определения этих зависимостей использованы следующие реологические зависимости, полученные непосредственно из гистерезисной петли путем аппроксимации дуг ее контура:

$$\vec{\sigma} = E_1 \epsilon + \nu_1 \epsilon^{n_1}, \quad (3)$$

$$\overleftarrow{\sigma} = E_2 \epsilon + \nu_2 \epsilon^{n_2}, \quad (4)$$

где  $E_1 = d\vec{\sigma}/d\epsilon$  при  $\sigma_{\min}$ , а  $E_2 = d\overleftarrow{\sigma}/d\epsilon$  при  $\sigma_{\min}$ .  $\nu_1, \nu_2, n_1, n_2$  — геометрические параметры петли гистерезиса данного грунта. По полученным значениям указанных выше параметров построена петля гистерезиса (рис. 2).

Интегрируя (3) и (4) по ветвям петли, найдем рассеиваемую энергию  $\Delta w$  за цикл деформирования в функции амплитуды деформации  $\epsilon_0$ , измеряемой площадью петли гистерезиса:

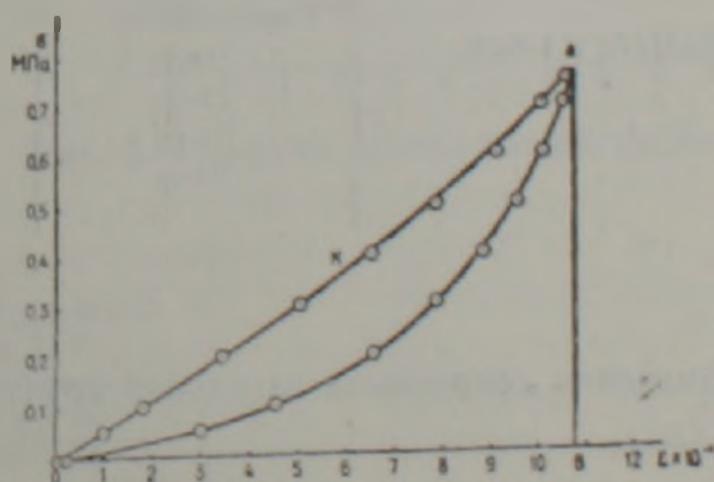


Рис. 2. Замкнутая петля десятого цикла нагрузки-разгрузки грунта при компрессии предварительно уплотненного под давлением  $\sigma_0=1,0$  МПа.

$$\Delta w = \int_0^{\varepsilon_n} \sigma d\varepsilon - \int_0^{\varepsilon_n} \sigma d\varepsilon = \left( \frac{E_1 \varepsilon_n^2}{2} + \frac{\nu_1 \varepsilon_n^{n_1+1}}{n_1+1} \right) - \left( \frac{E_2 \varepsilon_n^2}{2} + \frac{\nu_2 \varepsilon_n^{n_2+1}}{n_2+1} \right).$$

Полагая, что полная энергия  $w$  за цикл деформации измеряется площадью фигуры ОКАВ (рис. 2) [5].

$$w = \int_0^{\varepsilon_0} \sigma d\varepsilon = \frac{E_1 \varepsilon_0^2}{2} + \frac{\nu_1 \varepsilon_0^{n_1+1}}{n_1+1},$$

получаем значение относительного рассеяния энергии за один цикл деформирования

$$\psi = \frac{\Delta w}{w} = 1 - \frac{\frac{E_2 \varepsilon_0^2}{2} + \frac{\nu_2 \varepsilon_0^{n_2+1}}{n_2+1}}{\frac{E_1 \varepsilon_0^2}{2} + \frac{\nu_1 \varepsilon_0^{n_1+1}}{n_1+1}} \quad (5)$$

и соответствующее выражение для декремента колебаний

$$\delta = \frac{1}{2} - \frac{\frac{E_2 \varepsilon_0^2}{2} + \frac{\nu_2 \varepsilon_0^{n_2+1}}{n_2+1}}{E_1 \varepsilon_0 + \frac{2\nu_1 \varepsilon_0^{n_1+1}}{n_1+1}} \quad (6)$$

В таблице 1 приведены параметры  $E_1, E_2, \nu_1, \nu_2, n_1, n_2$  испытанного грунта при максимальном напряжении  $\sigma = 0,75 \sigma_0$  и при двух режимах нагружения.

Таблица 1

Параметры, входящие в выражение (6)

Режим нагружения	Параметры	$\sigma, \text{МПа}$		
		1.0	0.7	0.5
0.05 МПа × 15с	$E_{1, \text{ср}}$ МПа	60.715	44.835	41.246
	$E_{2, \text{ср}}$ МПа	33.932	18.717	20.417
	$\nu_{1, \text{ср}}$	$4.59 \times 10^3$	$2.12 \times 10^4$	$9.72 \times 10^4$
	$\nu_{2, \text{ср}}$	$7.72 \times 10^9$	$1.05 \times 10^{11}$	$3.19 \times 10^{10}$
	$n_{1, \text{ср}}$	1.514	1.877	2.180
	$n_{2, \text{ср}}$	4.199	4.833	4.701
0.05 МПа × 1 мин	$E_{1, \text{ср}}$ МПа	55.778	38.462	31.746
	$E_{2, \text{ср}}$ МПа	18.187	15.418	15.622
	$\nu_{1, \text{ср}}$	$1.15 \times 10^6$	$2.61 \times 10^4$	$6.17 \times 10^4$
	$\nu_{2, \text{ср}}$	$1.74 \times 10^9$	$8.04 \times 10^{11}$	$4.48 \times 10^{10}$
	$n_{1, \text{ср}}$	2.677	2.050	2.213
	$n_{2, \text{ср}}$	4.244	5.490	1.484

Таблица 2

Значения декремента затухания грунта при максимальном напряжении  $\sigma = 0,75 \sigma_0$ .

Режим нагружения	$\sigma_0, \text{МПа}$		
	1.0	0.7	0.5
0.05 МПа × 15с	0.190	0.202	0.184
0.05 МПа × 7 мин	0.189	0.212	0.181

Вычисленные по соотношению (6) декременты затухания при двух режимах нагружения приведены в таблице 2 (приведенные в таблицах 1 и 2 величины определены из десятого цикла нагрузки-разгрузки. Они практически не отличаются от данных, полученных из других замкнутых циклов до десятого).

Из табл. 2 следует, что в рассмотренных нами пределах скорость нагружения практически не влияет на величину декремента затухания. Вопрос влияния уровня нагружения  $\sigma/\sigma_0$  является предметом специального исследования.

Учитывая выражения (3) и (4) в уравнении  $\sigma = f(\varepsilon)$  изменение  $d\sigma/d\varepsilon$  [1] по ветвям петли гистерезиса принимает вид

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_1 + \nu_1 n_1 \varepsilon^{n_1-1}, \quad (7)$$

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_2 + \nu_2 n_2 \varepsilon^{n_2-1}. \quad (8)$$

Обозначая

$$\nu_1 n_1 = \beta_1, \quad n_1 - 1 = m_1, \quad (9)$$

$$\nu_2 n_2 = \beta_2, \quad n_2 - 1 = m_2,$$

уравнения (7) и (8) можно переписать в виде

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_1 + \beta_1 \varepsilon^{m_1}, \quad (10)$$

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_2 + \beta_2 \varepsilon^{m_2}. \quad (11)$$

На рис. 3 представлены графики зависимостей (10) и (11). Отметим, что значение  $d\sigma/d\varepsilon$  подсчитывалось как  $\Delta\sigma/\Delta\varepsilon$  на ступени приращения напряжений  $\sigma$  так, чтобы на участках ветвей петли можно было определить 8—10 экспериментальных точек [1].

Учитывая (9), выражение для декремента затухания колебаний (6) можно переписать в виде

$$\delta = \frac{1}{2} - \frac{E_2 \varepsilon_0^2 + \frac{\beta_2}{m_2+1} \varepsilon_0^{m_2+2}}{E_1 \varepsilon_0^2 + \frac{2\beta_1}{m_1+1} \varepsilon_0^{m_1+2}}. \quad (12)$$

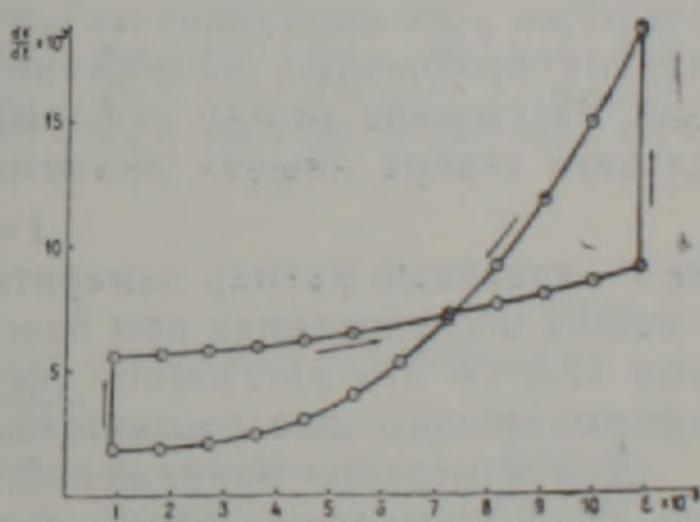


Рис. 3. Графики зависимостей  $d\sigma/d\varepsilon$  —  $\varepsilon$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гурев А. В., Мирошников Э. В. О форме механического гистерезиса и влиянии предварительной пластической деформации на рассеяние энергии. — В кн.: Рассеяние энергии при колебаниях механических систем. М.: Наукова думка, 1974, с. 203—203.
2. Каралетян Б. К., Арутюнян С. М. Экспериментальное определение декремента колебаний изгибаемых элементов из легкого железобетона при различном содержании продольной арматуры. — В кн.: Исследования элементов конструкций из бетонов на естественных пористых заполнителях с высокопрочной арматурой. Тр. АрмНИИСа, в. 15. Ереван: Айастан, 1980, с. 29—35.
3. Месчян С. Р. Механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения. М.: Недра, 1974, 192 с.
4. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Киев: Наукова думка, 1971.
5. Самченко И. А. Экспериментальное исследование коэффициента поглощения грунтов. Динамика грунтов. Сб. 44, 1961 с. 107—111.
6. Сорокин Е. С. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем. М.: Госстройиздат, 1960, 131 с.

Известия АН АрмССР. Науки о Земле, 1989, XLII. № 5, 74—77

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК: 624.19

Е. Г. ЗАВРИЯН

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОННЫХ ОБДЕЛКАХ ТУННЕЛЕЙ

Разработана методика измерения напряжений в туннельных конструкциях динамометрами с механическим измерителем деформаций.

Наиболее сложной проблемой в процессе исследования напряженного состояния конструкций является переход от измеренных деформаций к напряжениям, вызывающим эти деформации.

Работа обделки происходит в условиях плоского напряженного состояния. Для выделения активного слоя над прибором и исключения влияния продольных напряжений обычно оставляют деформационные швы. Расстояние между деформационными швами в сечении измерительного створа обычно принимается из условия Сен-Венана равным

$$l = 2 \div 3 r, \quad (1)$$

где  $r$  — линейный размер измерительного базиса.

В наших исследованиях при базе измерения деформации между траверсами 12,6 см это расстояние составляло  $3 \times 12,6 \approx 40$  см. Глубина же деформационного шва соответствовала толщине обделки.

Для измерения напряжений, вызывающих деформации динамометров, была проведена специальная тарировка на крупномасштабной бетонной модели (рис. 1).

Модель изготовлялась из тяжелого бетона размерами  $140 \times 140 \times 20$  см. В процессе бетонирования устанавливался прибор — траверсный динамометр.

По результатам испытаний контрольных бетонных кубов и призм получены следующие характеристики бетона модели:

Призменная прочность 21 МПа, кубиковая прочность 26 МПа, модуль деформации 26 000 МПа, бетон по прочности на сжатие класса Б—20.

Модель была испытана под прецизионным пресом ИПС—1000. При этом нагружение производилось с увеличением осевого усилия ступенями по 10 тс в диапазоне нагрузки от 0 до 90 тс с выдержкой осевого усилия на каждой ступени до стабилизации деформации модели во времени.