

МЕХАНИКА

УДК 624.131.542:624.131.221

Н. Г. Ахназарян, С. Р. Месчян

Исследование виброползучести водонасыщенного глинистого грунта

(Представлено академиком АН Армянской ССР Н. Арутюняном 13/X 1970)

Увеличение деформации материалов при вибрационных воздействиях установлено многочисленными исследованиями (¹).

В этой статье приведены результаты исследования виброползучести водонасыщенных глинистых грунтов при их сжатии с уплотнением в условиях отсутствия бокового расширения. Эти исследования выполнены применительно к гидротехническим сооружениям, амплитуды колебаний которых изменяются в пределах: $a = 0,0005 - 0,0020$ м.и., а частоты колебаний: $\omega = 0,5 - 200$ гц.

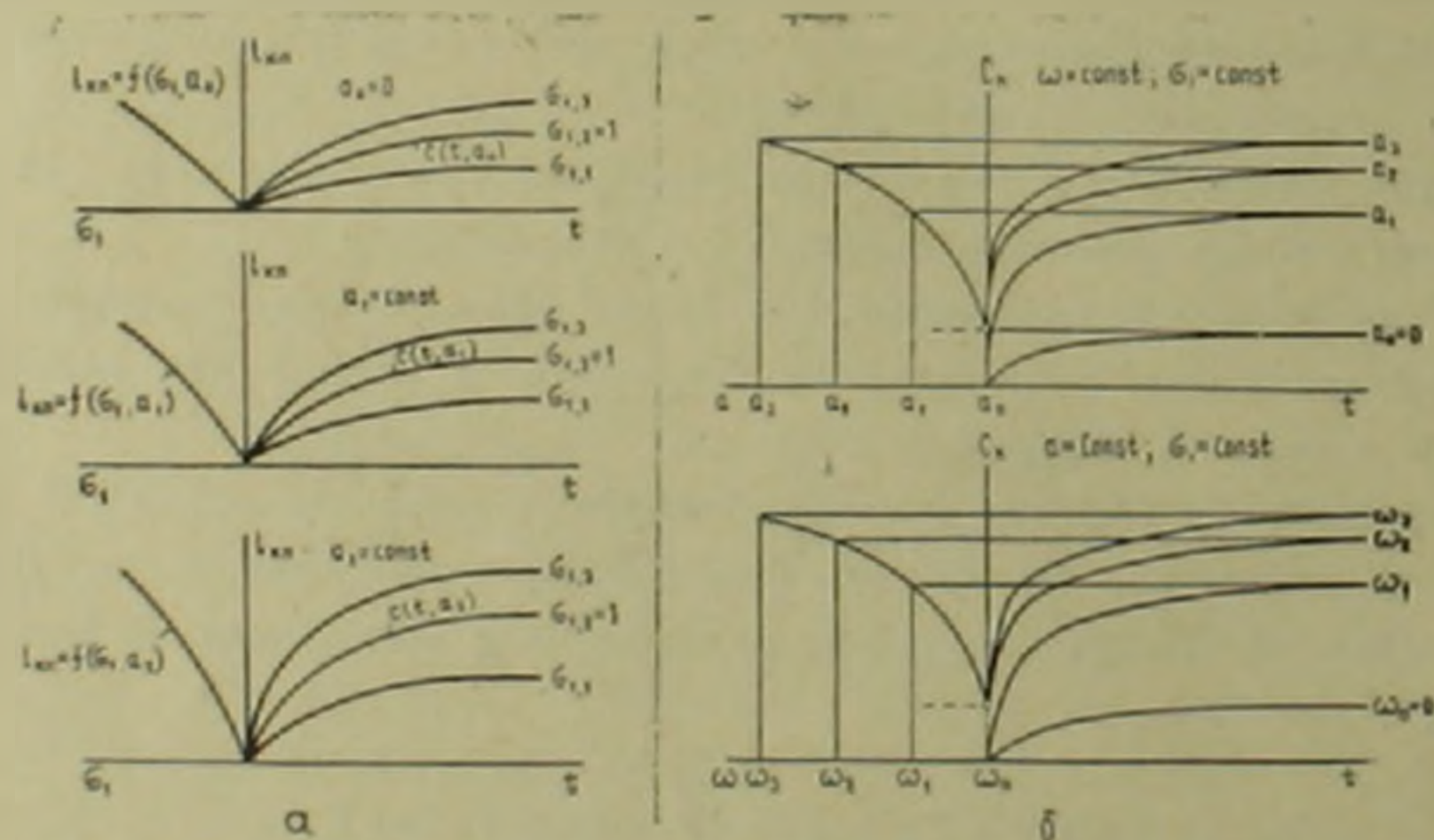


Рис. 1. а—семейства кривых виброползучести грунта и кривые деформация виброползучести (l_{kn}) — напряжение (σ_1) при различных значениях амплитуды колебаний (a); б—семейства кривых мер виброползучести при постоянной частоте ($\omega = \text{const}$) и амплитуде ($a = \text{const}$) колебаний. Кривые зависимости мера виброползучести (C_k) — амплитуда колебаний (a) и мера виброползучести (C_k) — частота колебаний (ω)

С точки зрения исследования ползучести (²) глинистых грунтов при вибрационных воздействиях — виброползучести, представляет

значительный теоретический и практический интерес определение влияния амплитуды (a) и частоты колебаний (ω) на ползучесть, путем экспериментального определения зависимостей меры ползучести $S_k(t)$ и функции напряжения $F(\sigma)$ от a и ω (3-6). В частности, для определения $S_k(t, a)$ и $F(\sigma, a)$ следует испытать на ползучесть несколько серий образцов-близнецов при различных постоянных значениях амплитуды колебаний и при одном постоянном значении частоты колебаний ($\omega = \text{Const}$). По результатам экспериментов следует построить семейства кривых виброползучести и ползучести ($a = 0, \omega = 0$) (рис. 1, а), кривые зависимости $l_{\text{кр}} = f(\sigma)$ для различных значений $a = \text{Const}$, а также семейства кривых мер виброползучести и ползучести (рис. 1, б). Из последнего графика можно установить зависимость меры ползучести $S_k(t)$ от величины амплитуды колебаний $S_k(t, a)$.

Аналогичным путем можно определить влияние частоты колебаний на ползучесть грунта (рис. 1, б).

Исследование виброползучести (виброуплотнение во времени) выполнено по методу О. А. Савинова (4). Уплотнение образцов грунта осуществлено на компрессионном приборе модели М-4 (7). Для создания вибрационных воздействий использована виброустановка вертикально-направленного действия.

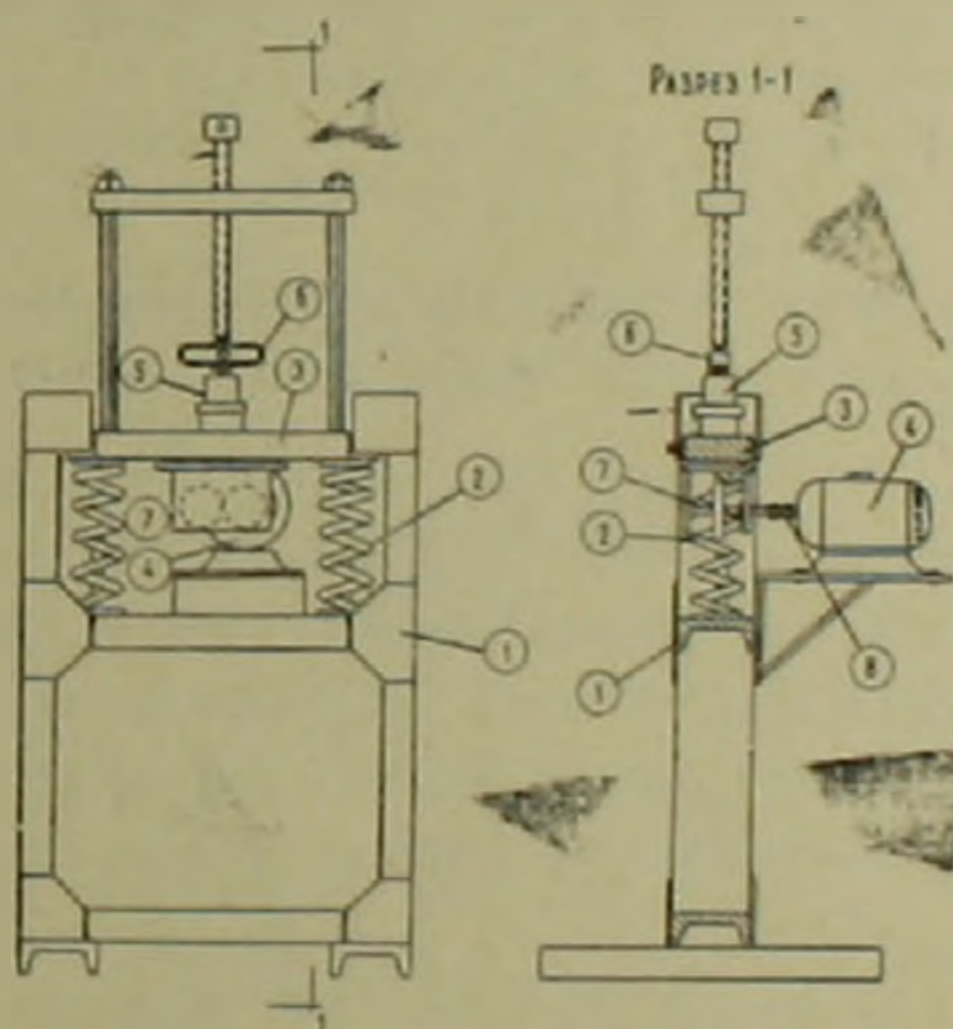


Рис. 2. Схема вибродвижущей установки: 1—рама; 2—пружина; 3—виброплощадка; 4—электродвигатель; 5—прибор с грунтом; 6—динамометр; 7—дебаланс; 8—резиновая муфта

Сконструированная нами вибродвижущая установка (рис. 2) состоит из рамы (1), двух пружин (2), на которых покоится вибродвижущая плита (3) со смонтированным под ней вибратором (7) и электродвигателем (4). Вибратор соединен с электродвигателем при помощи гибкой муфты (8). Нагрузка создается загрузочным винтом (9) и передается на образец через динамометр (6).

Вибратор направленного действия состоит из двух дебалансов с эксцентриситетом центров масс, вращающихся в различные стороны.

При горизонтальном расположении центров вращения создается вертикально-направленная вибрация. Изменение амплитуды колебаний осуществляется изменением масс дебалансов вибратора, а частоты колебаний — изменением числа оборотов электродвигателя.

Деформации виброползучести измеряются одним индикатором часового типа с точностью 0,002 или 0,001 мм при остановках виброустановки. Этим же индикатором измеряются амплитуды колебаний. Внешнее статическое давление поддерживается на заданном уровне с помощью загрузочного винта 9 (рис. 2).

Определение характеристик виброползучести сводится к установлению функций напряжений $F(\varepsilon, a, \omega = \text{Const})$, $F(\varepsilon, \omega, a = \text{Const})$ и мер виброползучести $C_k(t, a, \omega = \text{Const})$, $C_k(t, \omega, a = \text{Const})$ (').

1. Для определения $F(\varepsilon, a)$ по кривым $I_{\text{кп}} = f(\varepsilon)$, определенным при различных значениях амплитуды колебаний $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ ($\omega = \text{Const}$) (рис. 1,а), следует установить вид функции $F(\varepsilon, a)$.

Для выражения связи между деформациями компрессионной виброползучести (ползучести) и напряжениями можно, в частности, пользоваться степенной зависимостью

$$I_{\text{кп}} = B \varepsilon^n, \quad (1)$$

тогда функцию напряжения с учетом изменяемости амплитуды колебаний можно представить в следующем виде:

$$F(\varepsilon, a) = \varepsilon^{n(a)}, \quad (2)$$

где $n(a)$ — зависящая от амплитуды колебаний функция.

Точно так же при переменной частоте колебаний ($a = \text{Const}$) будем иметь

$$F(\varepsilon, \omega) = \varepsilon^{n(\omega)}. \quad (3)$$

II. Влияние вибрационных воздействий на ползучесть грунтов. при допущении о подобии кривых виброползучести, можно учесть при помощи функции виброползучести $F(a, \omega)$ ('). Тогда выражение меры компрессионной виброползучести можно представить в следующем виде:

$$C_k(t, a, \omega) = C_k(t) \cdot F(a, \omega), \quad (4)$$

где $C_k(t)$ — мера компрессионной ползучести, определенная при статическом приложении нагрузки ($a = 0, \omega = 0$); $F(a, \omega)$ — функция, характеризующая нелинейную зависимость между деформациями виброползучести, амплитудой и частотой колебаний.

В частном случае, когда $\omega = \text{Const}$, можно написать

$$C_k(t, a) = C_k(t) \cdot F_1(a), \quad (5)$$

где $F_1(a)$ — функция амплитуды колебаний, удовлетворяющая условию: $F_1(0) = 1$.

Выражение $C_k(t, a)$ определяется из семейства кривых мер ком-

прессионной виброползучести (рис. 1, б), определенных при различных значениях амплитуды колебаний $a = \text{Const}$. По кривым мер компрессионной виброползучести надо построить кривую $C_k = f(a)$, показанную на левой части графика рис. 1, б, и описать ее по одному из приведенных ниже выражений:

$$C_k(a) = d(1 - e^{-\tau a}) + C_k(a=0), \quad (6)$$

$$C_k(a) = B_1 a^n + C_k(a=0), \quad (7)$$

$$C_k(a) = \alpha a + \beta a^n + C_k(a=0), \quad (8)$$

где d , τ , B_1 , n , α и β — определяемые из опыта параметры. $C_k(a=0)$ — мера компрессионной ползучести при $a = 0$.

Выражение меры компрессионной ползучести определяется в результате описания кривой ползучести, полученной испытанием образцов при статическом приложении нагрузки ($a = 0$) (рис. 1, а).

Кривую ползучести при $a = 0$ можно описать по одному из приведенных ниже выражений (7):

$$C_k(t) = a + b \lg t, \quad (9)$$

$$C_k(t) = At^m, \quad (10)$$

$$C_k(t) = C(1 - e^{-\gamma t}), \quad (11)$$

Функция амплитуды колебаний определяется из следующего соотношения:

$$F_1(a) = \frac{C_k(a)}{C_k(a=0)}, \quad (12)$$

где $C_k(a)$ — мера компрессионной виброползучести при заданной a ($\omega = \text{Const}$) в некоторый фиксированный момент времени t (рис. 2), определяемая выражениями (6) — (8); $C_k(a=0)$ — то же самое при $a = 0$.

Учитывая (6) — (8), из (12) получим:

$$F_1(a) = d_0(1 - e^{-\tau a}) + 1, \quad (13)$$

$$F_1(a) = a^n + 1, \quad (14)$$

$$F_1(a) = \alpha_0 a + \beta_0 a^n + 1, \quad (15)$$

где

$$d_0 = \frac{d}{C_k(a=0)}, \quad \alpha_0 = \frac{\alpha}{C_k(a=0)}, \quad \beta_0 = \frac{\beta}{C_k(a=0)},$$

d , α и β — параметры, входящие в (6) — (8).

Описание кривых $l_{\text{вн}} = f(\sigma)$, $l_{\text{вн}} = f(t)$, $C_k = f(a)$, а также определение функций $F(\sigma)$; $F_1(a)$ и их параметров выполняется методами, подробно изложенными в (7).

Аналогичным образом можно учесть и влияние частоты колебаний (ω) на ползучесть грунтов.

На рис. 3 приведены три семейства кривых виброползучести глинистого грунта нарушенного сложения, полученные испытанием трех серий образцов-близнецов при трех различных значениях амплитуды колебаний: $a = 0$, $2a = 0,0055$ и $0,0225$ м.м. Частота колебаний $\omega = 21$ гц, а максимальное ускорение $f \approx 0,02 g$ (g — ускорение силы тяжести). При указанных значениях a и ω вибрационное воздействие

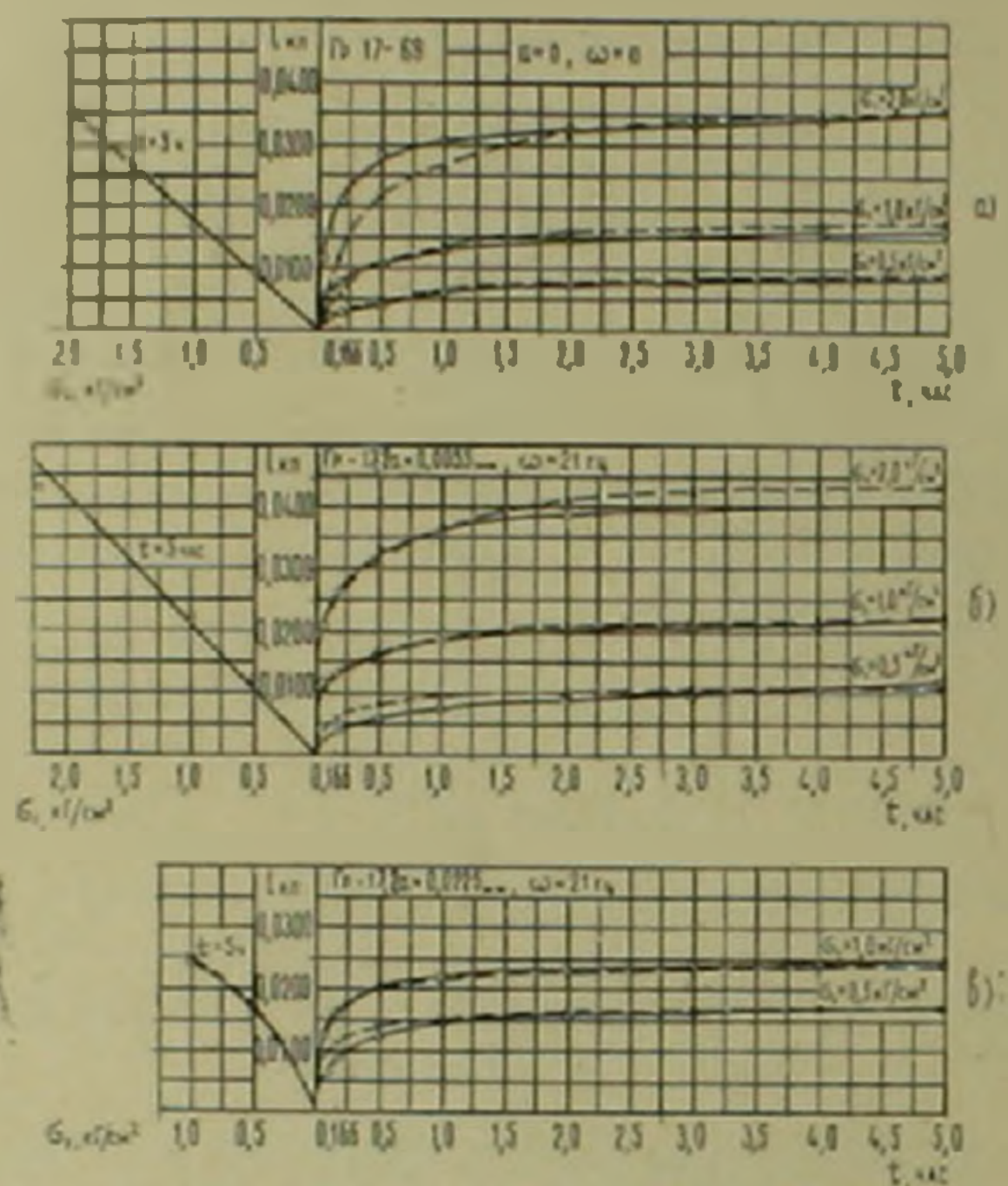


Рис. 3. Семейства кривых виброползучести и кривые деформация виброползучести (I_{kn}) — напряжение (σ_1) при различных значениях амплитуды колебаний ($2a$)

практически не влияло на величину статически приложенной нагрузки (показание динамометра). Изменение последней не превышало $0,1\%$, что давало основание напряжение считать постоянным.

На левых частях указанных графиков построены кривые зависимости $I_{kn} = f(\sigma_1)$. На рис. 4 приведены семейство кривых мер виброползучести и кривая зависимости $C_k = f(a)$.

Семейство кривых мер виброползучести (рис. 4) описано выражением (5). Входящая в это выражение мера обычной ползучести ($a = 0$) определена из следующего соотношения (7):

$$C_k(t) = C_1(1 - e^{-\gamma_1 t}) + (C_0 - C_1)[1 - e^{-\gamma_2(t-t_1)}], \quad (16)$$

где C_1 — деформация ползучести некоторого небольшого отрезка времени t_1 ; $C_0 = 0,018$; $C_1 = 0,013$; $\gamma_1 = 3,54$; $\gamma_2 = 0,86$.

Для определения зависимости $C_k - a$ использовано выражение вида (6), а функций амплитуды колебаний — выражение (13). $F_1(a)$ определена по соотношению (12).

Поскольку кривые виброползучести неподобны, выражение (6) представлено в следующем виде:

$$C_k(a) = d(t) |1 - e^{-\gamma a}| + C_k(t, a=0), \quad (6a)$$

а выражение функции амплитуды колебаний $F_1(a)$:

$$F_1(a) = d_0(t) |1 - e^{-\gamma a}| + 1, \quad (13a)$$

где $d(t)$ и $d_0(t)$ зависящие от времени функции:

$$d(t) = C_{a,0} + \frac{A}{B+t}, \quad (17)$$

$$d_0(t) = \frac{d(t)}{C(t, a=0)} = \frac{\left(C_{a,0} + \frac{A}{B+t} \right)}{C(t, a=0)}. \quad (18)$$

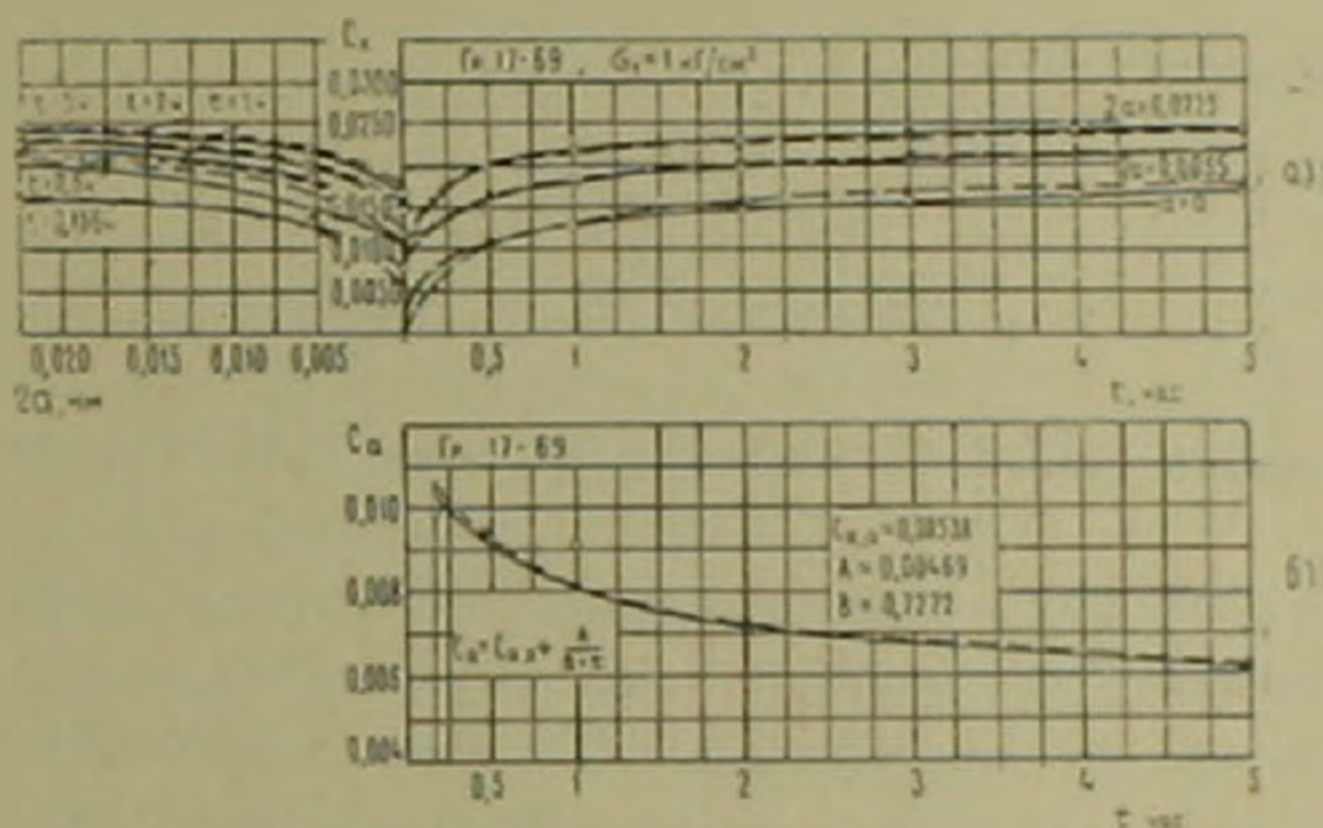


Рис. 4. а—семейства кривых мер виброползучести и кривых мера виброползучести (C_k) — амплитуда колебаний ($2a$); б — кривая изменяемости коэффициента C_a во времени

График функции $d(t)$ приведен на рис. 4, б. На правой части графика рис. 4, а сплошными линиями показаны экспериментальные кривые зависимости $C_k = f(a)$ для различных t , а штриховыми линиями — их описание по выражению (6, а).

В рассматриваемом примере

$$C_k(a) = \left(0,00538 + \frac{0,00469}{0,7272 + t} \right) (1 - e^{-0,189 \cdot 2a}) + C_k(t, a=0), \quad (19)$$

$$F_1(a) = \frac{\left(0,00538 + \frac{0,00469}{0,7272 + t} \right)}{C_k(t, a=0)} (1 - e^{-0,189 \cdot 2a}) + 1, \quad (20)$$

где $C_k(t, a=0) = C_k(t)$ — мера обычной ползучести (16).

Семейство кривых виброползучести при $a=0$ и $2a=0,0055$ м.м., ввиду линейной виброползучести, описано выражением:

$$l_{\kappa n}(t, a) = C_{\kappa}(t, a) \cdot \sigma, \quad (21)$$

а при $2a = 0,0225$ м.м — выражением

$$l_{\kappa n}(t, a) = C_{\kappa}(t, a) \cdot F(\sigma, 2a = 0,0225), \quad (22)$$

где $l_{\kappa}(t, a)$ — мера виброползучести при данной a (5); $F(\sigma, 2a = 0,0225)$ — функция напряжения при $2a = 0,0225$ м.м.

Зависимость $l_{\kappa n} = f(\sigma, 2a = 0,0225)$ определена из выражения:

$$l_{\kappa n} = C(1 - e^{-\eta \cdot \sigma}) = 0,0325(1 - e^{-1,48 \cdot \sigma}), \quad (23)$$

а функция напряжения F (6):

$$F(\sigma, 2a = 0,0225) = \frac{l_{\kappa n}}{l_{\kappa n}(\sigma = 1)} = \frac{0,0325}{0,0250}(1 - e^{-1,48 \cdot \sigma}) = 1,3(1 - e^{-1,48 \cdot \sigma}). \quad (24)$$

Институт математики и механики
Академии наук Армянской ССР

Ե. Գ. ՀԱՅՆԱԶԱՐՅԱՆ, Ս. Ռ. ՄԵՍՏՅԱՆ

Ջրահագեցված կավային բնահողի վիբրատորի հետազոտությունը

Հոդվածում շարադրված է ջրահագեցված կավային բնահողի կմախքի սողքի վրա վիբրացիոն ազդեցության հաշվառման ուղիները՝ սողքի ժառանգականության տեսության շրջանակներում: Բերված է ջրահագեցված կավային բնահողի նմուշների փորձարկման արդյունքները արտաքին բեռնվածքի ստատիկ և վիբրացիոն ազդման պայմաններում, հաստատուն հաճախականությունն և տարբեր մեծության հաստատուն ամպլիտուդաների դեպքում:

Ցույց է տրված, որ տատանումների հաստատուն հաճախականությամբ ($\omega = 2$ հերց) և նրանց ամպլիտուդի $a=0$ -ից $2a=0,0225$ մմ փոփոխման սահմաններում բնահողի սողքը մեծանում է մոտ 30%-ով: Ցույց է տրված նաև, որ վիբրացիայի ազդեցությունը կարելի է հաշվի առնել բնահողի սողքի չափը, փորձից որոշված, վիբրացիոն գործակցով բաղմասպատկելով (5) և տարբեր հաստատուն ամպլիտուդաներին համապատասխանող վիբրատորի կորերի ընտանիքներից լարման $F(\sigma, a)$ ֆունկցիայի որոշման միջոցով:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- 1 В. М. Бондаренко, Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона, Изд. Харьковского университета, Х., 1968.
- 2 Н. Х. Арутюнян, Некоторые вопросы теории ползучести, Гостехиздат, М.—Л., 1952.
- 3 Д. Д. Баркан, Динамика оснований и фундаментов, Стройвостприздат, 1948.
- 4 О. А. Савинов, Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет, Стройиздат, Л.—М., 1964.
- 5 П. Л. Иванов, Разжижение песчаных грунтов, Госэнергоиздат, М.—Л., 1963.
- 6 П. Л. Иванов, Л. Ш. Горелик, Консолидация слоя трехфазного несвязного грунта с учетом виброползучести скелета, Тр. коорд. совещ. по гидротехнике, вып. 47, Энергия, 1969.
- 7 С. Р. Месчян, Ползучесть глинистых грунтов, Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1967.