

Р. Р. ГАЛСТЯН, С. Р. МЕСЧЯН

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИВЫХ КОМПРЕССИОННОЙ ТЕРМОПОЛЗУЧЕСТИ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Определение характеристик термоползучести водонасыщенных глинистых грунтов при одномерном сжатии и отсутствии старения, в рамках теории наследственной ползучести [1], сводится к определению параметров, входящих в функцию напряжения  $F(\varepsilon_1, T)$  и в выражение меры компрессионной термоползучести  $C_k(t - \tau, T)$  ( $t$  — время,  $\tau$  — момент приложения нагрузки,  $T$  — температура).

Функцию напряжения  $F(\varepsilon_1, T)$  (с учетом температурных воздействий) можно, в частности, представить в виде:

$$F(\varepsilon_1, T) = \varepsilon_1^{n(T)} \quad (1)$$

а меру компрессионной термоползучести  $C_k(t - \tau, T)$  (при только положительных или только отрицательных температурах) — следующим выражением

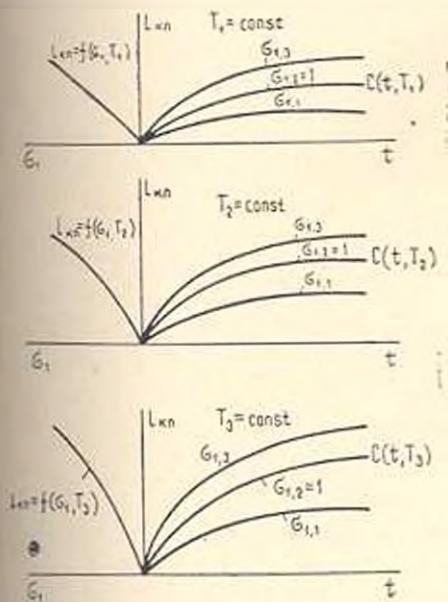
$$C_k(t - \tau, T) = C_k(t - \tau, T = \pm 1^\circ\text{C}) F_1(T, \varepsilon_1 = 1) \quad (2)$$

где  $F_1(T, \varepsilon_1 = 1)$  — функция температуры характеризующая нелинейную зависимость между температурой и деформациями ползучести;  $C_k(t - \tau, T = \pm 1^\circ\text{C})$  — мера компрессионной термоползучести при  $T = \pm 1^\circ\text{C}$  (или  $T = 1^\circ\text{C}$ );  $F_1(T, \varepsilon_1 = 1)$  удовлетворяет условию  $F(T = \pm 1^\circ\text{C}, \varepsilon_1 = 1) = 1$ .

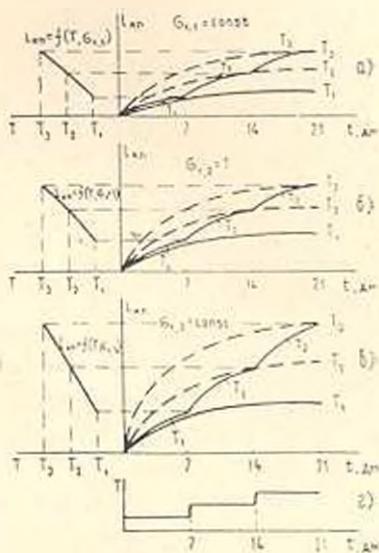
Для определения характеристик термоползучести необходимо испытать на ползучесть несколько серий образцов-близнецов при различных значениях постоянной температуры и по их результатам построить семейство кривых ползучести и кривые зависимости  $l_{\text{пол}} = f(\varepsilon_1)$  для различных  $T = \text{const}$  (фиг. 1).

Из изложенного выше следует, что для определения характеристик термоползучести водонасыщенных глинистых грунтов вообще, компрессионной термоползучести в частности, необходимо испытать большое количество (не менее 24 шт.) образцов-близнецов, обладающих одинаковыми физическими свойствами. Получение указанного количества образцов-близнецов практически не представляется возможным, поэтому и возникает вопрос о разработке практического метода определения характеристик термоползучести испытанием минимального количества образцов-близнецов заведомо зная, что в этом случае некоторые погрешности в их определении неизбежны.

С указанной целью можно применить разработанный одним из авторов статьи [2] приближенный метод определения кривых компрессионной ползучести. При применении указанного метода при каждом заданном значении постоянной температуры следует испытать два (или четыре—при двукратном опыте) образца-близнеца. Один из образцов следует испытать на ползучесть при постоянном, а второй—при переменном (возрастающем степенями) напряжении.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

При определении кривых компрессионной термоползучести грунтов указанный метод можно применить и в несколько ином виде: испытать два (или четыре—при двукратном опыте) образца-близнеца при каждом заданном постоянном напряжении  $\sigma_1 = const$ . В этом случае один из образцов следует испытать при постоянной  $T_1 = const$ , а второй—при переменной (возрастающей степенями) температуре (фиг. 2).

Для определения кривых ползучести при данном  $\sigma_1$ , соответствующих различным значениям температуры (отличным от  $T_1$ ), по аналогии с функцией напряжения  $f(\sigma_1)$ , используется функция температуры  $f_1(T)$ , характеризующая нелинейную зависимость между температурой и деформациями ползучести при данном напряжении  $\sigma_1$ .

Функция температуры  $f_1(T)$  определяется по усредненным кривым зависимости  $L_{кр} = f(T)$  ( $L_{кр}$ —относительная деформация компрессионной ползучести), построенным по кривым ползучести, определенным при переменной, возрастающей равными степенями, температуре и приведенным на левых частях графика фиг. 2.

Характер усредненной кривой  $l_{\text{кп}} = f(T)$  обусловлен продолжительностью действия ступени температуры — интервалом изменения температуры. Интервал изменения  $T$  выбирается с таким расчетом, чтобы конечная деформация, определенная при переменной температуре (например, при  $T_2$ ), стала равной деформации, определенной при данной постоянной температуре (фиг. 2).

При только положительных или только отрицательных температурах функцию температуры  $F_1(T)$  можно представить в виде следующего выражения:

$$F_1(T, \sigma_1 = \text{const}) = T^p \quad (3)$$

где  $p$  — определяемый из опыта параметр.

Функция температуры  $F_1(T)$  для каждого заданного постоянного напряжения  $\sigma_1 = \text{const}$  определяется из следующего соотношения:

$$F_1(T, \sigma_1 = \text{const}) = \frac{l_{\text{кп}}(T, \sigma_1 = \text{const})}{l_{\text{кп}}(T = \pm 1^\circ\text{C}, \sigma_1 = \text{const})} \quad (4)$$

где  $l_{\text{кп}}(T)$  — относительная деформация компрессионной термоползучести при данном  $T$  в некоторый фиксированный момент времени  $t$ ;  $l_{\text{кп}}(T = \pm 1^\circ\text{C})$  — то же самое при  $T = +1^\circ\text{C}$  или  $T = -1^\circ\text{C}$ .

Таким образом, кривые ползучести, полученные испытанием образцов при ступенчато-возрастающей температуре, используются для установления зависимости  $l_{\text{кп}} = f(T)$  и определения функций температуры  $F_1(T)$  при различных постоянных напряжениях  $\sigma_1$ . Что же касается кривых, полученных испытанием образцов при постоянной температуре  $T$ , то по ним определяют зависимость  $l_{\text{кп}} = f_1(t - \tau, T)$  при данных значениях  $\tau$  и  $T$ , а по выражению

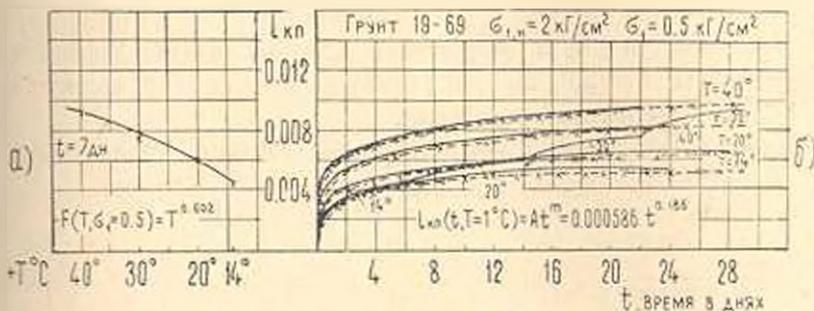
$$l_{\text{кп}}(t - \tau, T) = l_{\text{кп}}(t - \tau, T = \pm 1^\circ\text{C}) F_1(T) \quad (5)$$

— кривые ползучести для постоянных температур  $T_2, T_3, T_4, \dots, T_k$ , отличных от  $T_1$ , соответствующие различным постоянным значениям напряжения  $\sigma_1$ .

Кривые ползучести при данных значениях  $T$  и  $\sigma_1$  описываются выражениями и методами, подробно рассмотренными в [3]. Кривые термоползучести, описанные по выражению (5), показаны на правых частях графиков фиг. 2 пунктирными линиями.

Перестраивая полученные семейства кривых термоползучести (фиг. 2) в семейства кривых  $l_{\text{кп}} = f_2(\sigma_1, t)$  при различных значениях температуры  $T = \text{const}$  (фиг. 1), описывают кривую меры термоползучести  $C(t - \tau, T)$  и определяют функцию напряжения  $B(\sigma_1, T)$  для различных  $T$ . Затем описывают семейство кривых мер термоползучести (построенное по результатам их описания), определяют функцию температуры  $F_1(T)$  при  $\sigma_1 = 1 \text{ кг/см}^2$  и выражение меры термоползучести (2).

На фиг. 3 приведены результаты испытания серии образцов-близнецов миоценовой глины естественного сложения (табл. 1) при постоянном напряжении  $\sigma_1 = 0.5 \text{ кг/см}^2$  и различных постоянных значениях температуры  $T = 14^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ \text{ C}$ , показанных сплошными линиями.



Фиг. 3.

На том же графике приведена кривая термползучести, определенная испытанием одной пары образцов-близнецов при температуре, возрастающей ступенями  $T = 14^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ \text{ C}$  с интервалом 7 дней. В левой части графика (фиг. 3) приведена кривая зависимости  $\ln = f(T)$ , построенная по кривой термползучести, определенной при переменной температуре.

Таблица 1

Лабор. № грунта	Наименование	Сложение	Уд. вес $\gamma_{\text{уд}}$ (г/см <sup>3</sup> )	Объемн. вес $\gamma$ (г/см <sup>3</sup> )	Влажн. нач. ( $w_0$ )%	Коэф. порис. (e)	Степ. влажности (G)
19-69	Глина миоценов	естеств.	2.62	1.91	26.9	0.74	0.96

Испытания образцов-близнецов проводились под водой в компрессионных приборах модели М-2 одного из авторов статьи [3] после полного водонасыщения и предварительного уплотнения под бытовым давлением. Температуры  $20^\circ, 30^\circ, 40^\circ \text{ C}$  создавались и поддерживались в течение всего эксперимента термостатами ТЛ-150 и 8 (ГДР), нагревающими в приборы воду постоянной температуры. Температура  $14^\circ \text{ C}$  создавалась водопроводной водой, имеющей начальную температуру  $11^\circ \text{ C}$ . Среднесуточное колебание температуры находилось в пределах  $\pm 0.5^\circ \text{ C}$ .

Кривая зависимости  $\ln = f(T)$  (фиг. 3) описана степенной зависимостью вида

$$L_{\infty}(T, \sigma_1 = 0.5) = B T^n = 0.000813 T^{0.652} \quad (6)$$

из которой определено выражение функции температуры:

$$r_1(T, \sigma_1 = 0.5) = T^n = T^{0.652} \quad (7)$$

Кривая ползучести при  $T = 14^\circ\text{C}$  описана выражением

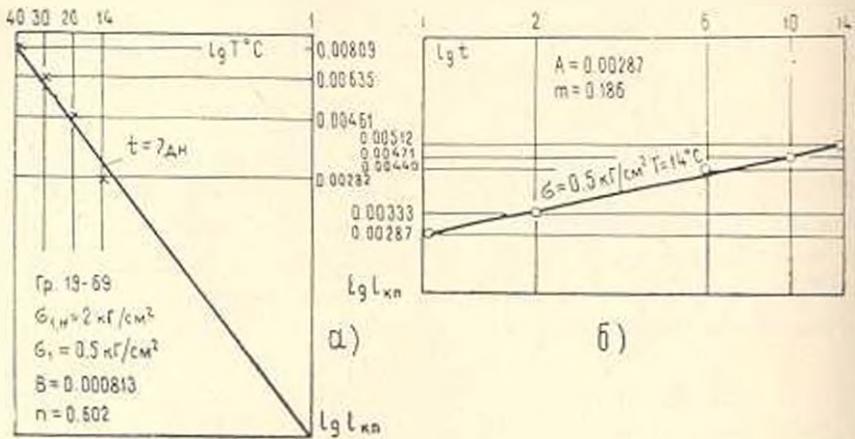
$$l_{\text{кр}}(t, T = 14^\circ\text{C}) = At^m = 0.00287t^{0.186} \quad (8)$$

а при  $T = +1^\circ\text{C}$

$$l_{\text{кр}}(t, T = +1^\circ\text{C}) = \frac{l_{\text{кр}}(T = 14^\circ\text{C})}{F_1(T = 14^\circ\text{C})} = 0.000586t^{0.186} \quad (9)$$

Используя (7) и (9), по выражению (5) определены кривые термоползучести для  $T = 20, 30, 40^\circ\text{C}$ , которые на правой части графика фиг. 3 показаны штрих-крестиками.

Параметры, входящие в (6) и (8), определены по прямым, спрямленным в координатах  $\lg l_{\text{кр}} - \lg T$ ,  $\lg l_{\text{кр}} - \lg t$  (фиг. 4а и 4б).



Фиг. 4.

Сопоставление экспериментальных кривых термоползучести (фиг. 3) с кривыми, определенными по выражению (5) и по результатам испытания двух пар образцов-близнецов, показывает их хорошее совпадение. Это свидетельствует о правильном определении интервала изменения температуры и о применимости метода для определения кривых термоползучести.

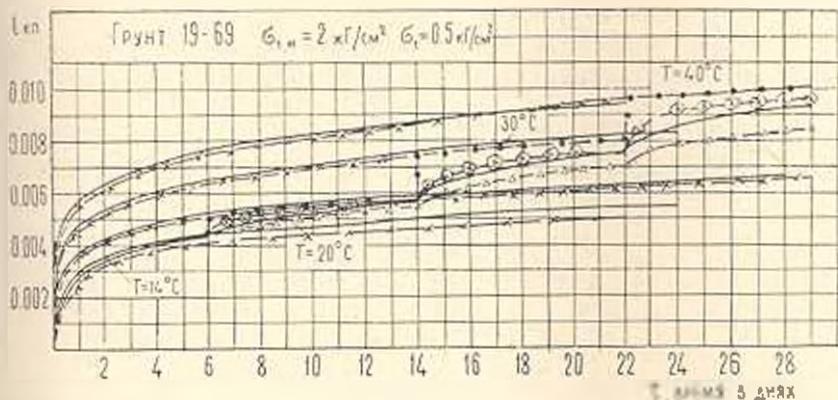
На фиг. 5 приведены экспериментальные кривые, полученные испытанием образцов-близнецов при заданных постоянных и изменяющейся степенями температурах (сплошные линии). На этой же фигуре приведены результаты описания экспериментальной кривой термоползучести, определенной при переменной температуре, тремя теориями ползучести: „старения“ (10) (пунктир с точкой), „упрочнения“ (11) (пунктирная линия с треугольниками) и „наследственной ползучести“ (12) (пунктирная линия с крестиками и кружочках) [4, 5, 1].

$$l_{\text{кр}}(t) = l_{\text{кр}}(t, T = 1^\circ\text{C}) F_1(T, \alpha = 0.5) \quad (10)$$

$$l_{\text{кр}} = l_{\text{кр}}^2 - \alpha T^2 \quad (11)$$

$$l_{kn}(t) = - \int_0^t F_1(T) \frac{l_{kn}(t-\tau, T=+1^\circ\text{C}, \sigma_1=0.5)}{\sigma_1} d\tau \quad (12)$$

Описание экспериментальной кривой по трем указанным выше теориям выполнено графическим методом [4] на основании приведенного выше (фиг. 3) описания семейства кривых термползучести, показанного на фиг. 5 пунктирными линиями с крестиками.



Фиг. 5.

Как и ранее [6], кривые, построенные по теориям „старения“, и „наследственной ползучести“ расположены выше, а по теории „упрочнения“ — ниже экспериментальной кривой термползучести. Как теория „упрочнения“ (11), так и теория „наследственной ползучести“ (12) описывают экспериментальные кривые термползучести вполне удовлетворительно.

Институт математики и механики  
АН Армянской ССР  
Ереванский государственный  
университет

Поступила 18 V 1970

Բ. Բ. ՉԱԼՍՅԱՆ, Ս. Բ. ԼԵՈՆՅԱՆ

ՋՐՀԱԳԵՑԱՆԿ ԿՈՎՈՒՑՈՒՆ ԲՆԱՀԱՊԵՐԻ ԿՈՐԴԻՆԱՏՈՐՈՒ ԶԵՐԲԱՍՏՈՂՔԻ  
ԿՈՐԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԸ

Ս. Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողվածում շարադրված է հեղինակների կողմից մշակված ջրհողեցած բնահողերի ջերմաստղերի կորերի որոշման գործնական եղանակը: Զերմաստղերի կորերի բնասանիքների որոշման համար փորձարկվում են երկու նմուշ-երկիվոր-յակներ: նմուշ-երկիվորյակներից մեկը փորձարկվում է հաստատուն  $T = \text{const}$ , իսկ երկրորդը՝ փոփոխական (տասի.անային-անող) ջերմաստիճանների զեղ-րում, հաստատուն լարման ազդեցության տակ: Ինկ նմուշի փորձարկումից

որոշվում է  $l_{\kappa n} = f_1(t)$ , իսկ երկրորդից —  $l_{\kappa n} = f_2(T)$  կախվածությունները և սովյալ լարմանը ( $\tau_1$ ) համապատասխան ջերմաստիճանի ֆունկցիան:

Ջերմաստղքի կրերը ( $T_1$  — ից տարրեր) որոշվում են

$$l_{\kappa n}(t, T) = l_{\kappa n}(t, T = +1^\circ\text{C})F_1(T)$$

արտահայտությամբ. որտեղ՝  $l_{\kappa n}$  — ջերմաստղքի զեֆորմացիաներն են  $l_{\kappa n}(t, T = +1^\circ\text{C})$  — նույնը՝ միավոր ջերմաստիճանի դեպքում,  $F_1(T)$  — ջերմաստիճանի ֆունկցիան է. որը բավարարում է  $F_1(1) = 1$  պայմանին:

Բերված է ջերմաստղքի փորձնական կրերի նկարագրությունը ձերացման, ամրացնողման և ժառանգական սողքի տեսությունների ֆիզիկական հավասարումներով: Ցույց է տրված. որ ջերմաստղքի ընթացքը ժառանգական սողքի և ամրացնողման տեսություններով նկարագրվում է լիովին բավարար:

## THE METHOD TO DETERMINE THE CURVES OF COMPRESSION THERMOCREEP OF WATER-SATURATED CLAY GROUNDS

R. R. GALSTIAN, S. R. MESCHIAN

### S u m m a r y

Two samples of grounds are tested to determine the families of thermocreep curves. One of the samples is tested for creep with  $T = \text{const}$  and the other at variable (stop-increasing) temperature under the action of a given constant stress. By testing one sample the dependence  $l_{\kappa n} = f_1(t)$  is found while the dependence  $l_{\kappa n} = f_2(T)$  and the temperature function at a given stress  $\tau_1$  are defined by testing the other one.

The thermocreep curves (other than  $T_1$ ) are found from the expression

$$l_{\kappa n}(t - \tau, T) = l_{\kappa n}(t - \tau, T = 1^\circ\text{C})F_1(T)$$

where  $l_{\kappa n}$  is the thermocreep deformation,  $l_{\kappa n}(t - \tau, T = 1)$  is the same at  $T = \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $F_1(T)$  is the temperature function satisfying the  $F_1(1) = 1$  condition.

The „heredity creep“ and „consolidating“ theories are shown to describe the clay ground creep process quite satisfactory.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехиздат, М.-Л, 1952.
2. Месчян С. Р. Методики определения характеристик ползучести скелета глинистых грунтов применительно к условиям одномерного уплотнения. Изв. АН Арм. ССР, серия физ.-мат. наук, т. 17, № 3, 1964.
3. Месчян С. Р. Ползучесть глинистых грунтов. Изд. АН Арм. ССР; Ереван, 1961.
4. Работнов Ю. Н. Ползучесть элементов конструкции. Изд. „Наука“, М., 1966.
5. Наместникова В. С. и Хвостуников А. А. Ползучесть дюралюминия при постоянных и переменных нагрузках. ПМТ, № 4, 1960.
6. Ахназарян Н. Г., Миркарян Э. М. и Месчян С. Р. О применимости теории ползучести для описания деформаций скелета глинистого грунта при одномерном уплотнении. Изв. АН Арм. ССР, „Механика“, т. 21, № 3, 1968.