

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 $F(\sigma_1, T)$ и в выражение меры компрессионной термоползучести $C_k(t - \tau, T)$ (t — время, τ — момент приложения нагрузки, T — температура).

Функцию напряжения $F(\sigma_1, T)$ (с учетом температурных воздействий) можно, в частности, представить в виде:

$$F(\sigma_1, T) = \sigma_1^{n(T)} \quad (1)$$

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

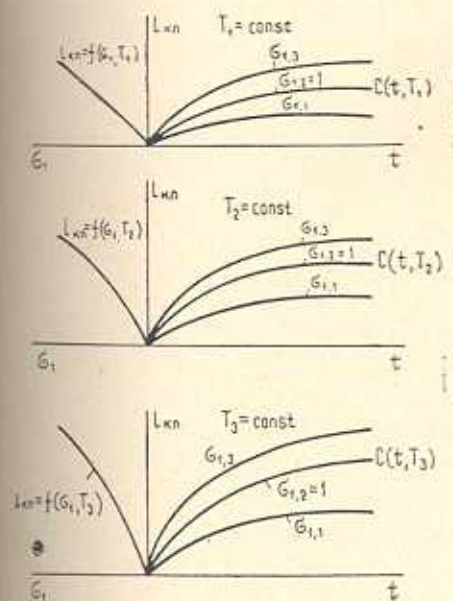
$$C_k(t - \tau, T) = C_k(t - \tau, T = \pm 1^\circ\text{C}) F_1(T, \sigma_1 = 1) \quad (2)$$

где $F_1(T, \sigma_1 = 1)$ — функция температуры характеризующая нелинейную зависимость между температурой и деформациями ползучести; $C_k(t - \tau, T = \pm 1^\circ\text{C})$ — мера компрессионной термоползучести при $T = +1^\circ\text{C}$ (или $T = 1^\circ\text{C}$); $F_1(T, \sigma_1 = 1)$ удовлетворяет условию $F(T = \pm 1^\circ\text{C}, \sigma_1 = 1) = 1$.

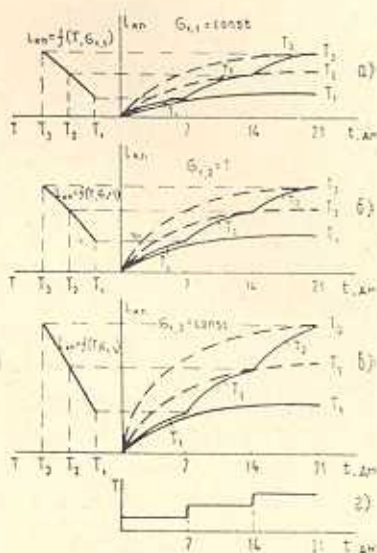
Для определения характеристик термоползучести необходимо испытать на ползучесть несколько серий образцов-близнецов при различных значениях постоянной температуры и по их результатам построить семейство кривых ползучести и кривые зависимости $I_{\text{сп}} = f(\sigma_1)$ для различных $T = \text{const}$ (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 ступенями) напряжении.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

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

Для определения кривых ползучести при данном σ_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 σ_1 .

Функция температуры $F_1(T)$ определяется по усредненным кривым зависимости $l_{kn} = f(T)$ (l_{kn} — относительная деформация компрессионной ползучести), построенным по кривым ползучести, определенным при переменной, возрастающей равными ступенями, 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:

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

где n — 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 σ_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 σ_1 и T_1 , а по выражению

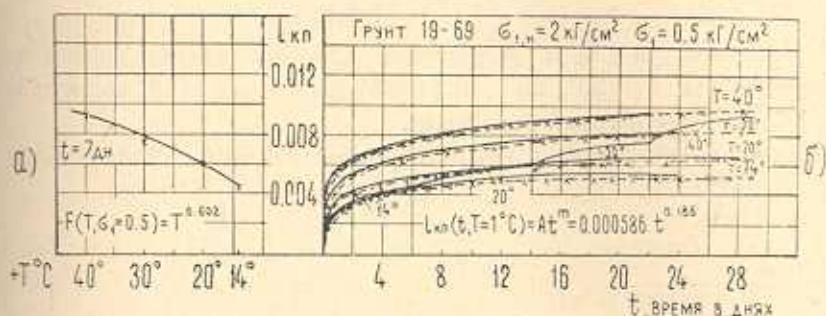
$$l_{\text{кп}}(t - \tau, T) = l_{\text{кп}}(t - \tau, T = \pm 1^\circ\text{C}) F_1(T) \quad (5)$$

— кривые ползучести для постоянных температур $T_2, T_3, T_4, \dots, T_k$, отличных от T_1 , соответствующие различным постоянным значениям напряжения σ_1 .

Кривые ползучести при данных значениях T и σ_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 $F(\sigma_1, T)$ 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 $l_{kp} = f(T)$, построенная по кривой термползучести, определенной при переменной температуре.

Таблица 1

Лабор. № грунта	Наименование	Сложение	Уд. вес $\gamma/\text{см}^3$ ($\gamma_{уд}$)	Объемн. вес $\gamma/\text{см}^3$ (γ)	Влажн. нач. (w_0)%	Коеф. порис. (e)	Степ. влажности (G)
19-69	Глина миоцена	естест.	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), нагнетающими в приборы воду постоянной температуры. Температура 14°C создавалась водопроводной водой, имеющей начальную температуру 11°C . Среднесуточное колебание температуры находилось в пределах $\pm 0.5^\circ \text{C}$.

Кривая зависимости $l_{kp} = f(T)$ (фиг. 3) описана степенной зависимостью вида

$$l_{kp}(T, \sigma_1 = 0.5) = BT^{n_1} = 0.0008137 T^{0.602} \quad (6)$$

из которой определено выражение функции температуры:

$$r_1(T, \sigma_1 = 0.5) = T^{n_1} = T^{0.602} \quad (7)$$

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

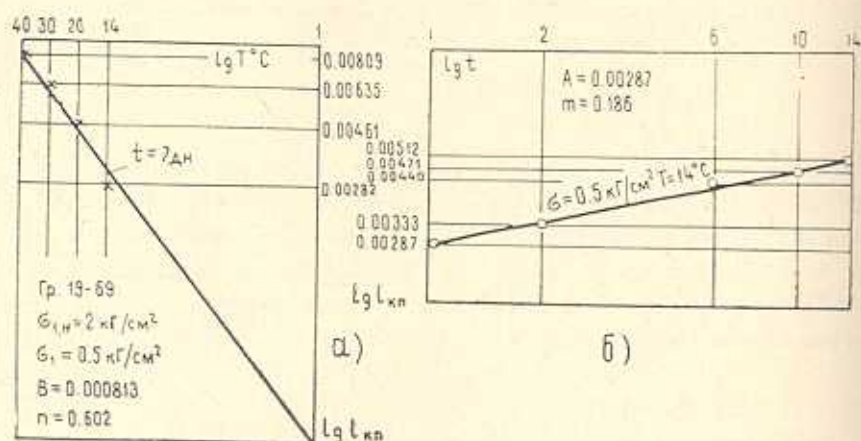
$$l_{\text{кр}}(t, T = 14^\circ\text{C}) = At^m = 0.00287t^{0.186} \quad (8)$$

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 $T = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ\text{C}$, 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.

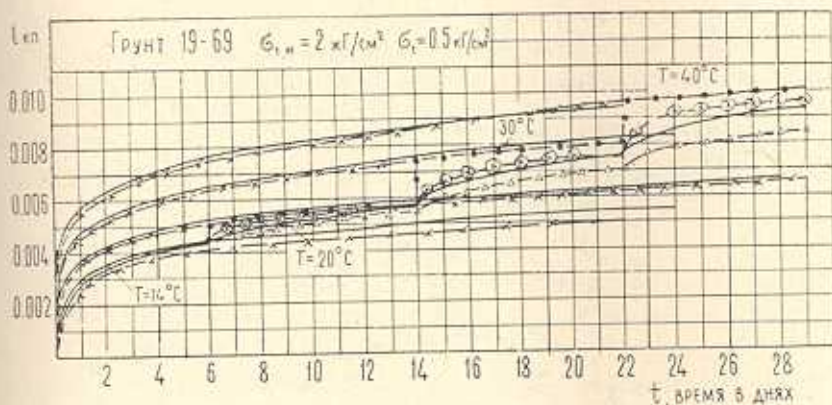
На фиг. 5 приведены экспериментальные кривые, полученные испытанием образцов-близнецов при заданных постоянных и изменяющейся ступенями температурах (сплошные линии). На этой же фигуре приведены результаты описания экспериментальной кривой термоползучести, определенной при переменной температуре, тремя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

$$l_{\text{кр}}(t) = l_{\text{кр}}(t, T = 1^\circ\text{C}) F_1(T, \sigma_1 = 0.5) \quad (10)$$

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

$$l_{\text{кр}}(t) = - \int_{\tau_1}^t F_1(T) \frac{l_{\text{кр}}(t - \tau, T = +1^\circ\text{C}, \sigma_1 = 0.5)}{\sigma_1} d\tau \quad (12)$$

Описание экспериментальной кривой по трем указанным выше теориям выполнено графическим методом [4] на основании приведенного выше (фиг. 3) описания семейства кривых термоползучести, 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 термоползучести. Как теория „упрочнения“ (11), так и теория „наследственной ползучести“ (12) описывают экспериментальные кривые термоползучести вполне удовлетворительно.

Институт математики и механики
АН Армянской ССР
Ереванский государственный
университет

Поступила 18 V 1970

Ռ. Ռ. ԳԱՎՏՅԱՆ, Ս. Ռ. ՄԵՍԶՅԱՆ

ԶՐԱԳԵՑԱՍ ԿԱՎԱՅԻՆ ԲՆԱՀՈՂԵՐԻ ԿՈՄՊՐԵՍԻՈՆ ԶԵՐՄԱՍՈՂՔԻ
ԿՈՐԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԸ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Հորիաժում շարագրված է հեղինակների կողմից մշակված ջրհաղեցած բնահողերի ջերմաստղի կորերի որոշման գործնական եղանակը: Զերմաստղի կորերի բնտանիքների որոշման համար փորձարկվում են երկու նմուշ-երկվոր-լակներ: Նմուշ-երկվորյակներից մեկը փորձարկվում է հաստատուն $T = \text{const}$, իսկ երկրորդը՝ փոփոխական (աստիճանային-անոշ) ջերմաստիճանների ղեկ-րում, հաստատուն լարման աղղեցույթյան աակ: Մեկ նմուշի փորձարկումից

որոշվում է $l_{\text{кр}} = f_1(t)$, իսկ երկրորդից — $l_{\text{кр}} = f_2(T)$ կախվածությունները և ավելի լարմանը (σ_1) համապատասխան ջերմաստիճանի ֆունկցիան:

Ջերմաստղքի կրեերը (T_1 — ից տարբեր) որոշվում են.

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

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

Բերված է ջերմաստղքի փորձնական կրեերի նկարագրությունը ծերացման, ամրապնդման և ժառանգական սողքի տեսությունների ֆիզիկական հավասարումներով: Ցույց է տրված, որ ջերմաստղքի ընթացքը ժառանգական սողքի և ամրապնդման 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 thermocrep 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 $l_{\text{кр}} = f_1(t)$ is found while the dependence $l_{\text{кр}} = f_2(T)$ and the temperature function at a given stress σ_1 are defined by testing the other one.

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

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

where $l_{\text{кр}}$ is the thermocrep deformation, $l_{\text{кр}}(t - \tau, T = 1)$ 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. Методика 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. Наместников В. С. и Хвостунов А. А. Ползучесть дюралюминия при постоянных и переменных нагрузках. ПМТ, № 4, 1960.
6. Ахназарян Н. Г., Маркарян 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.