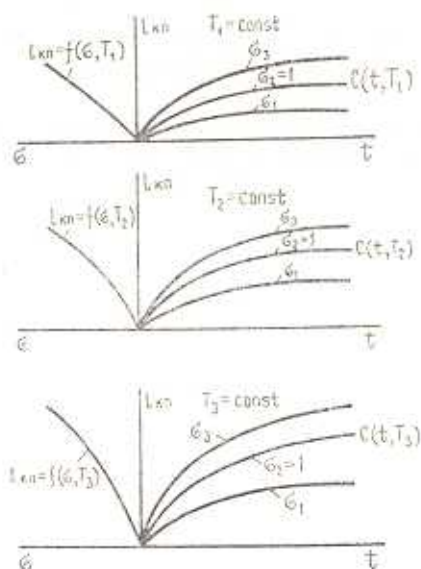


Р. Р. ГАЛСТЯН, Р. П. МАЛАКЯН, С. Р. МЕСЧЯН

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОПОЛЗУЧЕСТИ ВОДОНАСЫЩЕННОГО ГЛИНИСТОГО ГРУНТА ПРИ ОДНОМЕРНОМ СЖАТИИ

Термоползучесть—ползучесть обычных и мерзлых грунтов с учетом температурных эффектов, является одним из важных свойств глинистых грунтов. Ползучесть мерзлых грунтов достаточно подробно рассмотрена в книгах [1, 2]. Ползучесть обычных грунтов при изменении температуры в пределах  $+10 - +40^{\circ}\text{C}$  в условиях трехосного сжатия в течение 100 мин исследована Мураяма и Шибата [3]. Термоползучесть глинистого грунта при кручении кольцевых образцов (сдвиг) в течение 485 дней исследована одним из авторов этой статьи [4].

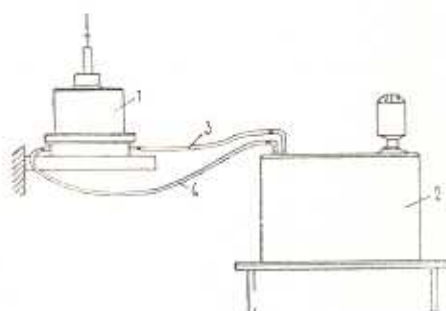


Фиг. 1.

Для учета влияния температурных воздействий на ползучесть грунтов при длительных процессах следует из эксперимента определить деформации ползучести в различных температурных условиях и установить зависимость указанных деформаций от температуры  $T = \text{const}$ . Для этого надо испытать несколько серий образцов-близнецов, определить деформации ползучести, построить семейства кривых ползучести и кривые зависимости напряжения—деформации ползучести  $l_{kn} = f(\epsilon)$  (фиг. 1).

Указанные семейства кривых термоползучести можно получить также по результатам испытания на ползучесть образцов-близнецов при различных значениях постоянной температуры при каждом постоянном напряжении. Таким образом, определение свойств компрессионной термоползучести сводится к установлению меры компрессионной термоползучести  $C_k(t-\tau, T)$  и зависящей от температуры функции напряжения  $F(\tau, T)$  [5].

Образцы-близнецы при каждом постоянном значении температуры испытываются по методам, подробно рассмотренным в [6], в обычных компрессионных приборах. При испытании на ползучесть водонасыщенных глинистых грунтов при положительных значениях постоянной температуры ( $+T$ ) заданная температура поддерживается на данном уровне в течение всего эксперимента термостатом, нагнетающим в прибор воду постоянной температуры (фиг. 2). С указанной целью нами использованы термостаты типа У8 (ГДР) и ультратермостаты Одесского завода медицинского оборудования. Точность поддержания заданной температуры  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ .



Фиг. 2.

1. Деформация ползучести грунта с учетом температурных воздействий  $l_{кр}(t-\tau, T)$  определяется по следующему выражению:

$$l_{кр}(t-\tau, T) = C_k(t-\tau, T) F(\tau, T) \quad (1)$$

где  $C_k(t-\tau, T)$  — зависящая от температуры мера ползучести ( $z=1$ );  $F(\tau, T)$  — зависящая от температуры функция напряжения, учитывающая нелинейную связь между напряжениями и деформациями ползучести.

Функцию напряжения  $F(\tau, T)$  определяют по кривым  $l_{кр} = f(\tau)$ , построенным для различных значений постоянной температуры  $T_1, T_2, \dots, T_k$  по экспериментальным семействам кривых ползучести (фиг. 1). Если, например, по известным методам [6] получены выражения  $F(\tau)$  в виде степенной функции  $F(\tau) = \sigma^n$  для различных постоянных  $T$ , т.е., установив зависимость  $n$  от  $T$ , можно получить выражение функции напряжения

$$F(\tau, T) = \sigma^{n(T)} \quad (2)$$

Когда температура принимает только положительные значения, меру компрессионной термоползучести можно представить в следующем виде:

$$C_k(t - \tau, T) = C_k(t - \tau, T = +1^\circ\text{C}) F_1(T, \tau = 1) \quad (3)$$

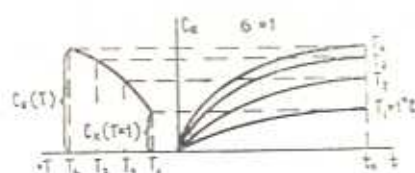
где  $C_k(t - \tau, T = +1^\circ\text{C})$  — мера компрессионной термоползучести при  $T = +1^\circ\text{C}$ ;  $F_1(T, \tau = 1)$  — функция температуры, учитывающая влияние температуры на ползучесть грунта и удовлетворяющая условию

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

При линейной зависимости между значением меры ползучести и температурой при заданном фиксированном  $t$  выражение (3) записывается в следующем виде:

$$C_k(t - \tau, T) = C_k(t - \tau, T = +1^\circ\text{C}) T \quad (4)$$

Мера ползучести  $C_k(t - \tau, T)$  определяется из семейства кривых мер термоползучести (фиг. 3), построенных для различных значений постоянной температуры (фиг. 1). Для этого следует иметь выражение меры ползучести при  $T = +1^\circ\text{C}$ , а по кривой  $C_k = f(T)$ , показанной на левой части фиг. 3, определить функцию температуры  $F_1(T, \tau = 1)$ .



Фиг. 3.

Кривую меры ползучести при  $T = +1^\circ\text{C}$  можно описать степенной или экспоненциальной функциями:

$$C_k(t - \tau, T = +1^\circ\text{C}) = A(t - \tau)^n \quad (5)$$

$$C_k(t - \tau, T = -1^\circ\text{C}) = C_1[1 - e^{-\lambda(t - \tau)}] + [C_0 - C_1][1 - e^{-\lambda(t - \tau - 1)}] \quad (6)$$

где  $C_1$  — деформация термоползучести при  $t - \tau = 1$  день.

В (6)  $\lambda$  подбирается с таким расчетом, чтобы при  $(t - \tau) = 1$ ,  $C_k \approx C_1$ .

Для определения функции температуры  $F_1(T)$  кривую  $C_k \approx f(T)$  (фиг. 3) можно, в частности, описать следующим выражением:

$$C_k(T) = BT^n \quad (7)$$

Тогда функция температуры для некоторого фиксированного момента времени будет иметь следующий вид:

$$F_1(T, \tau = 1) = T^n \quad (8)$$

Имея выражения функций температуры (8) и меры термоползучести при данной (отличной от  $T = +1^\circ\text{C}$ ) температуре, меру термоползучести при  $T = +1^\circ\text{C}$  определяют из следующего соотношения:

$$C_k(t - \tau, T = +1^\circ\text{C}) = \frac{C_k(t - \tau, T)}{F_1(T, \sigma = 1)} \quad (9)$$

где  $C_k(t - \tau, T)$  — мера компрессионной термоползучести при данном  $T$ ;  $F_1(T, \sigma = 1)$  — функция термоползучести при том же  $T$ .

Имея в виду (5) и (8), выражение (3) перепишем в следующем виде:

$$C_k(t - \tau, T) = A(t - \tau)^m T^n \quad (10)$$

Приведенные выше выражения справедливы также для описания термоползучести глинистых грунтов при только отрицательных температурах.

2. Исследована термоползучесть глины миоцена естественного сложения (табл. 1). Опыты проведены в компрессионных приборах модели М-2 [6]. Испытаны образцы высотой  $h = 20$  мм, диаметром  $d = 70$  мм после предварительного уплотнения под бытовым давлением  $\sigma_n = 2.0 \text{ кг/см}^2$  в течение 24-х дней. Наибольшая длительность опытов (без учета времени предварительного уплотнения) — 29 дней. Отжатие поровой воды из образцов двухстороннее, повторность опытов — двукратная.

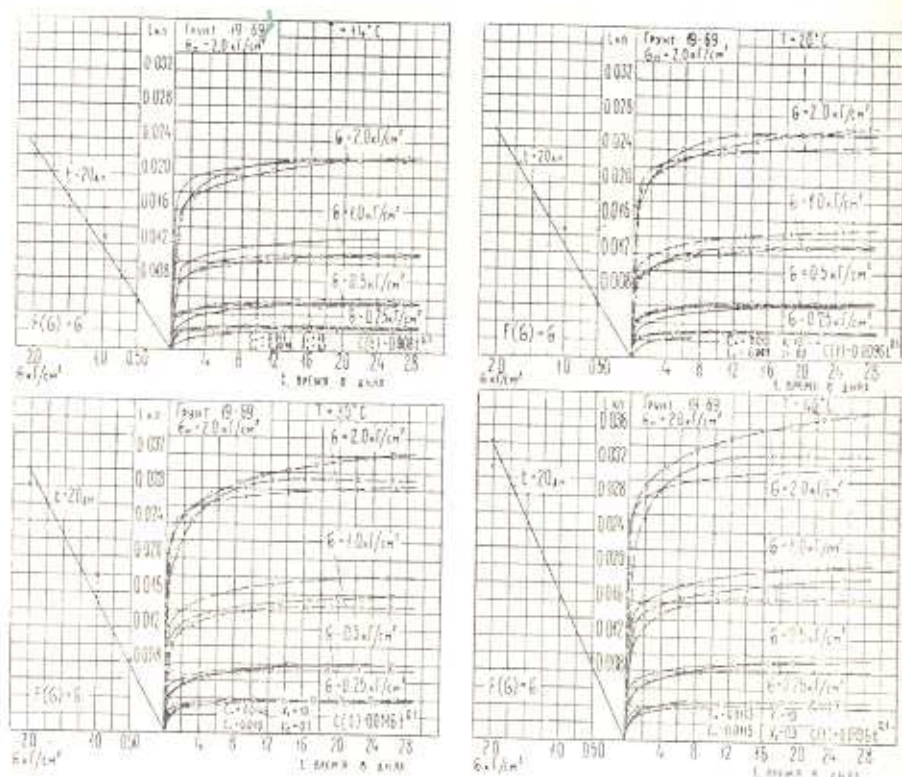
Таблица 1

Лаб. №	Наименование	Уд. вес $\rho/\text{см}^3$ ( $\gamma_{уд}$ )	Влажн. ( $w$ ), %	Пределы пластич. %		Число пласт. ( $w_{пл}$ )	Консистенция
				предел текуч. ( $w_T$ )	предел раскат. ( $w_p$ )		
19-69	глина миоцена	2.62	25.1— —26.9	47.0	26.3	20.7	0.057— —0.029

Испытаны четыре серии образцов-близнецов при четырех различных напряжениях  $\sigma = 0.25, 0.5, 1.0$  и  $2.0 \text{ кг/см}^2$ . При напряжениях  $\sigma = 0.25$  и  $0.5 \text{ кг/см}^2$  попарно испытаны восемь образцов-близнецов при  $T = 14^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  и  $40^\circ\text{C}$ . При напряжениях  $\sigma = 1$  и  $2 \text{ кг/см}^2$  испытаны по две пары образцов-близнецов при постоянной температуре  $T = 14^\circ\text{C}$  и температуре, возрастающей ступенями через 6—8 дней.

На фиг. 4 приведены семейства кривых термоползучести, соответствующие четырем различным значениям постоянной температуры  $T = 14^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  и  $40^\circ\text{C}$ . На правых частях указанных графиков кривых семейств термоползучести сплошными линиями показаны кривые, определенные непосредственным испытанием образцов-близнецов при указанных выше условиях. Пунктирными линиями с крестиками показаны кривые, определенные по предложенному двумя из авторов статьи методу [7]. По указанному методу определены кривые термоползучести при  $\sigma = 1$  и  $2 \text{ кг/см}^2$ , соответствующие  $T = 20^\circ, 30^\circ$  и  $40^\circ\text{C}$ .

Кривые термоползучести построены по средне-арифметическим значениям результатов испытания двух образцов-близнецов. Разброс опытных данных по сравнению со средне-арифметическим значением колебался в пределах  $\pm 3.4\%$ .



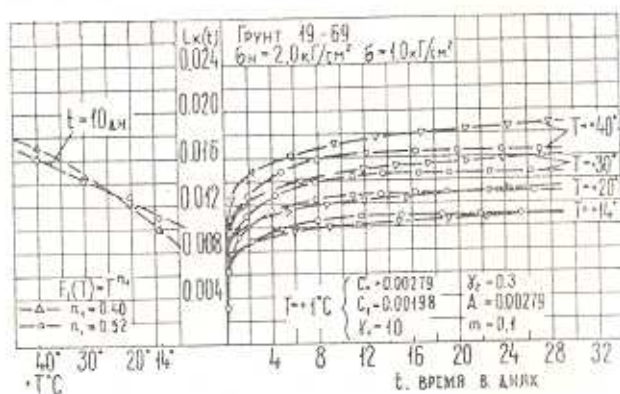
Фиг. 4.

Следует здесь же отметить, что после завершения опытов нагревание и охлаждение образцов прекращалось, и температура образцов естественным путем доводилась до комнатной  $T = 20^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ . В результате этого деформации образцов, испытанных при  $T = 14^\circ\text{C}$  через 5–7 дней равнялись деформациям образцов, испытанных при комнатной температуре. Что же касается образцов, испытанных при  $T = 30^\circ$  и  $40^\circ\text{C}$ , то после спада температуры до комнатной их деформации полностью стабилизировались. При этом не было обнаружено как увеличение, так и уменьшение деформации образцов.

На левых частях графиков фиг. 4 построены кривые зависимости  $l_{\text{кр}} = f(\sigma)$  для различных постоянных значений температуры. Как видно из указанных графиков, зависимость  $l_{\text{кр}} = f(\sigma)$  с достаточной для практики точностью можно аппроксимировать прямыми. Из этого следует, что функция напряжения (2) приобретает вид  $F(\sigma, T) = \sigma$ .

Кривые мер термоползучести ( $\sigma = 1 \text{ кг/см}^2$ ) при различных постоянных температурах  $T$  описаны степенной (5) и экспоненциальной (6) функциями [6]. Описание семейств кривых термоползучести выпол-

нено по выражению (1) с учетом (2), (3), (5), (6) и (8). Кривые, описанные степенной зависимостью (5), на правых частях графиков фиг. 4 показаны штрих-треугольниками, а по экспоненциальной зависимости (6) — штрих-пунктиром. Параметры, входящие в эти выражения, приведены на графиках.



Фиг. 5.

Для определения функции температуры  $F_1(T, \sigma = 1)$  (8) на графике фиг. 5 приведены кривые мер термоползучести, полученные в результате описания экспериментальных кривых и кривых, определенных по методу [7] степенной и экспоненциальной функциями (фиг. 4). На левой части графика фиг. 5 построены кривые  $C_x = f(T)$  для указанных двух случаев при  $t = 10$  дней. В результате описания этих кривых получены следующие функции температуры:

$$F_1(T, \sigma = 1) = T^{0.46}$$

$$F_1(T, \sigma = 1) = T^{0.52} \quad (11)$$

а по соотношению (9), используя (11), определены выражения мер термоползучести видов (5) и (6) для единичной температуры  $T = +1^\circ\text{C}$ . Параметры, входящие в (5) и (6), приведены на графике.

Окончательные виды выражения (1), полученные на основании результатов экспериментального определения  $C(t - \tau, T = \pm 1^\circ\text{C})$ ,  $F_1(T)$  и  $F(\sigma)$ , для указанных выше случаев использования степенной (5) и экспоненциальной (6) функций соответственно приведены ниже:

$$I_{\text{эк}}(t - \tau, T) = 0.00279 (t - \tau)^{0.1} T^{0.46} \sigma \quad (12)$$

$$I_{\text{эк}}(t - \tau, T) = |0.00198 [1 - e^{-10(t-\tau)}] + (0.00279 - 0.00198) \times \\ \times (1 - e^{-0.3(1-(t-\tau)-1))}] T^{0.52} \sigma \quad (13)$$

Резюмируя изложенное выше, можно заключить, что температура играет важную роль в процессе уплотнения водонасыщенных глини-

стых грунтов. Поэтому при изменении температуры более, чем на  $3-4^{\circ}\text{C}$  учет ее влияния на ползучесть указанных грунтов является необходимым.

Институт математики и механики

АН Армянской ССР

Ереванский государственный университет

Поступила 18 V 1970

Պ. Ր. ԳԱԼՍՏՅԱՆ, Ր. Պ. ՄԱԼԱԿՅԱՆ, Ս. Ր. ՄԵՇԿՅԱՆ

ՋՐՀԱԳՆԵՑԱԾ ԿԱՎԱՅԻՆ ԲՆԱՀԱՂԻ ՋԵՐՄԱՍՈՂՎԻ  
ՈՒՍՈՌՄԱՆԱԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԻԱՌԱՅՆՅՔ ՍԵՂՄՄԱՆ ԳԵՊՊՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հոդվածում բերված են ջրհագեցած կավային բնահողի սողքի ուսումնասիրության արդյունքները միառանցք սեղմման դեպքում, հաշվի առնելով ջերմության ազդեցությունը:

Կոմպրեսիոն ջերմաստղքի չափի  $C_k(t-\tau, T)$  և լարման ֆունկցիայի  $F(\varepsilon_1, T)$  որոշման համար փորձարկված են բնական կառուցվածքի չորս սերիա նմուշ-երկրորդակներ  $T = 14^{\circ}, 20^{\circ}, 30^{\circ}$  և  $40^{\circ}\text{C}$  ջերմաստիճանի պարմաններում: Յուրաքանչյուր հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում որոշված են սողքի չորս կորեր՝ համապատասխան  $\varepsilon_1 = 0.25; 0.5; 1.0$  և  $2.0$  կգ/սմ լարմաներին:

Կոմպրեսիոն ջերմաստղքի չափը որոշված է հետևյալ արտահայտությամբ

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

որտեղ՝  $C_k(t-\tau, T = +1^{\circ}\text{C})$  — ջերմաստղքի չափն է  $T = +1^{\circ}\text{C}$  դեպքում,  $F_1(T, \varepsilon_1 = 1)$  — ջերմաստիճանի ֆունկցիան է  $\varepsilon_1 = 1$  դեպքում, որը բավարարում է հետևյալ պայմանին՝  $F_1(T = +1^{\circ}\text{C}, \varepsilon_1 = 1) = 1$ :

Ջերմաստղքի կորերը նկարագրված են աստիճանային և էքսպոնենցիալ ֆունկցիաներով, ջերմաստիճանի ֆունկցիան ներկայացված է աստիճանային ֆունկցիայի տեսքով: Ջերմաստղքի կորերի ընտանիքների նկարագրությամբ որոշված են ջերմաստղքի պարամետրերը, որոնք մտնում են  $C_k(t-\tau, T)$  և  $F(\varepsilon_1, T)$  արտահայտությունների մեջ:

THE INVESTIGATION OF WATER-SATURATED CLAY  
GROUND THERMOCREEP UNDER THE CONDITION  
OF SINGLE-MEASURED COMPRESSION

R. R. GALSTIAN, R. P. MALAKIAN, S. R. MESCHIAN

S u m m a r y

The results of water-saturated clay ground thermocreeep investigations under the single-measured compression are described, taking into consideration the temperature influence.

Four series of ground samples having the natural structure are tested for creep to determine the measure of compression thermocreep  $C_k(t, T)$  and the stress function  $F(z_1, T)$ , when  $T = 14^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  and  $40^\circ\text{C}$ . Four creep curves are determined for every constant value of temperature corresponding to the stress  $\sigma_1 = 0.25; 0.5; 1.0$  and  $2 \frac{kG}{cm^2}$ .

The compression thermocreep measure is determined by the expression

$$C_k(t, T) = C_k(t, T = -1^\circ\text{C})F(T, \sigma = 1)$$

where  $C_k(t, T = -1^\circ\text{C})$  is the thermocreep measure, when  $T = -1^\circ\text{C}$ ;  $F(T, \sigma_1 = 1)$  is the temperature function satisfying the  $F(T = -1^\circ\text{C}, \sigma = 1) = 1$  condition.

The thermocreep curves are described by the power and exponential functions, the temperature function is represented as a power dependence.

The description of the thermocreep curve sets determines the thermocreep parameters included in the expressions  $C_k(t, T)$  and  $F(\sigma_1, T)$ .

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Вязлов С. С. Реологические свойства и несущая способность грунтов. Изд. АН СССР, М., 1959.
2. Вязлов С. С., Гмришинский В. Г. и др. Прочность и ползучесть мерзлых грунтов и расчеты ледогрунтовых ограждений. Изд. АН СССР, М., 1962.
3. Muraјama S. and Shibata T. Reological properties of clays. V JCOSOMEF, vol. II, 1961.
4. Месчян С. Р. Длительное сопротивление переувлажненной глины сдвигу. Изд. АН Арм. ССР, Механика, т. 19, № 5, 1966.
5. Арутюнян Н. X. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехиздат, 1952.
6. Месчян С. Р. Ползучесть глинистых грунтов. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1967.
7. Галстян Р. Р., Месчян С. Р. Метод определения краевых компрессионной термоползучести водонасыщенных глинистых грунтов. Изв. АН Арм. ССР, Механика, т. XXIV, № 1, 1971.