

УДК 624.131.542:624.131.221

МЕХАНИКА

С. Р. Месчян

Метод определения кривых ползучести глинистых грунтов при сдвиге

(Представлено академиком АН Армянской ССР Н. Х. Арутюняном 12/VII 1971)

Для определения закономерностей и характеристик ползучести материалов вообще, глинистых грунтов, в частности, нами (1,2) разработан достаточно простой метод определения кривых и характеристик компрессионной ползучести скелета глинистых грунтов, основанный на испытании двух (четырёх—при двухкратной повторности опыта) образцов-близнецов. Аналогичный метод (3) был разработан и для определения кривых и характеристик компрессионной термоползучести. Эти методы применимы только для определения однотипных (подобных) кривых ползучести. Указанное условие соблюдается всегда при компрессионных испытаниях, так как при любом уровне напряжений деформации ползучести грунта имеют затухающий характер.

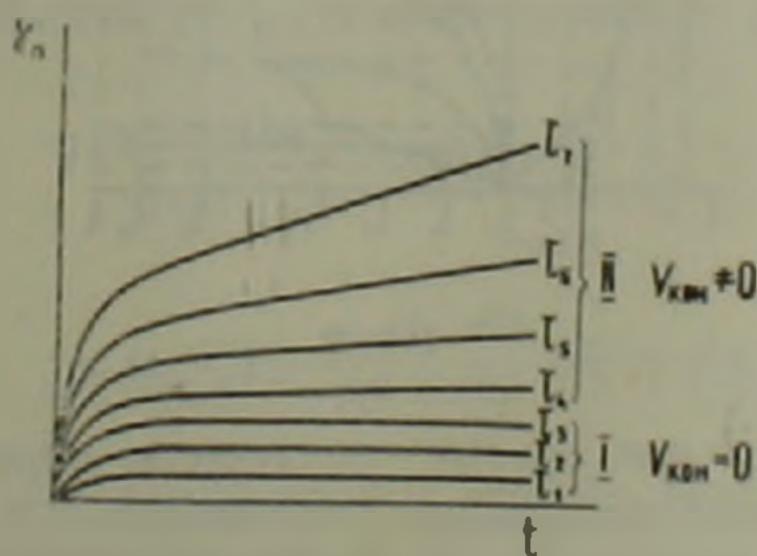
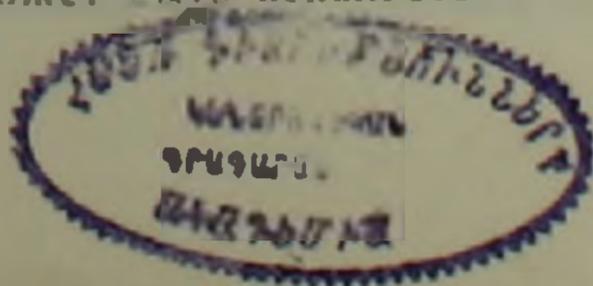


Рис. 1

При любом заданном состоянии деформации ползучести глинистых грунтов при сдвиге (точно так же при одноосном и трехосном сжатиях), в зависимости от величины напряжения, могут иметь как затухающий, так и незатухающий характер (рис. 1). Поэтому предложенный нами ранее метод (2) может быть использован либо для оп-



ределения группы кривых затухающих деформаций (I), либо — группы кривых незатухающих деформаций ползучести (II).

Для определения семейства кривых ползучести при сдвиге (одноосном и трехосном сжатиях) можно воспользоваться указанным выше методом раздельного определения групп кривых ползучести типов (I) и (II). Тогда, в отличие от (1), надо (при двух различных постоянных напряжениях τ^I и τ^{II}) определить две экспериментальные кривые ползучести. Одна из этих кривых должна принадлежать к группе кривых (I), а вторая — к группе кривых ползучести типа (II) (рис. 2). Кроме того, как и в (1), из эксперимента следует определить также одну кривую ползучести при ступенчато-возрастающей нагрузке. При этом интервалы приложения ступеней нагрузок при $\tau < 0,4 \tau_{сд}$ можно принять равными 8—10 дн., а при $\tau > 0,4 \tau_{сд}$ — 20—30 дн. ($\tau_{сд}$ — стандартное сопротивление грунта сдвигу, τ — касательное напряжение).

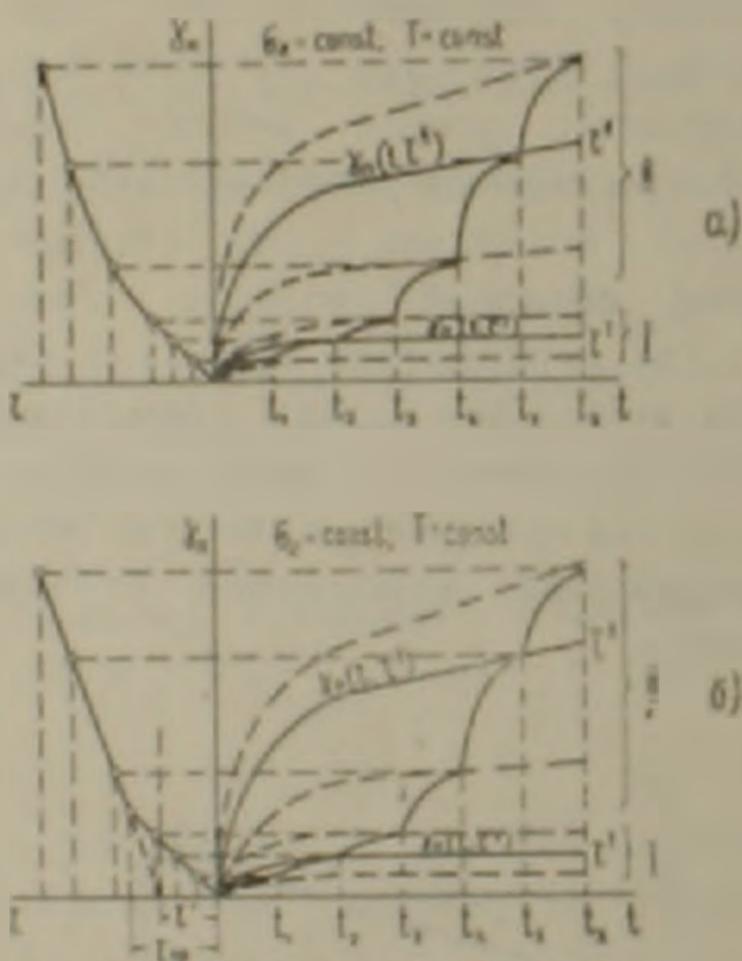


Рис. 2

Экспериментальные кривые ползучести, определяемые при двух различных значениях постоянного напряжения τ^I и τ^{II} и при ступенчато-возрастающем касательном напряжении, на правой части графика рис. 2 показаны сплошными линиями.

Таким образом, для определения семейства кривых ползучести при сдвиге (одноосном и трехосном сжатиях) следует испытать не два (четыре — при двукратной повторности опыта), а три (шесть — при двукратной повторности опыта) образца-близнецы. Как и ранее (1), по кривой ползучести, определенной при ступенчато-возрастающем напряжении, строится кривая зависимости $\gamma = f(\tau)$, а по ней определя-

ется функция напряжения $F(\tau)$ (рис. 2). Затем, используя выражение $F(\tau)$ и экспериментальные кривые ползучести типов (I) и (II), полученные при двух различных значениях τ'' и τ' , определяются кривые ползучести указанных двух групп, которые на правой части графика рис. 2 показаны штриховыми линиями.

Например, если в общем случае зависимость между деформациями ползучести $\gamma_0(t, \tau')$, определенными из эксперимента при τ' , и касательными напряжениями записать в виде

$$\gamma_0(t, \tau') = \sigma^1(t) F(\tau'), \quad (1)$$

а меру ползучести $\sigma^1(t)$ определить по выражению

$$\sigma^1(t) = \frac{\gamma_0(t, \tau')}{F(\tau')}, \quad (2)$$

то кривые ползучести типа (I), для отличных от τ' напряжений, можно будет определить по следующей зависимости:

$$\gamma_0(t, \tau'_0) = \sigma^1(t) \cdot F(\tau'_0) = \frac{\gamma_0(t, \tau')}{F(\tau')} F(\tau'_0), \quad (3)$$

где $\gamma_0(t, \tau'_0)$ — деформация ползучести при τ'_0 ; $F(\tau'_0)$ — функция напряжения при данном напряжении τ'_0 ($\tau'_0 \neq \tau'$).

По аналогии с изложенным выше, кривые типа (II) для напряжений, отличных от τ'' , можно определить по выражению

$$\gamma_0(t, \tau''_0) = \sigma''(t) \cdot F(\tau''_0) = \frac{\gamma_0(t, \tau'')}{F(\tau'')} F(\tau''_0), \quad (4)$$

Когда зависимость $\gamma = f(\tau)$ аппроксимируется ломаной линией (рис. 2, б), зависимости (3) и (4) соответственно запишутся в следующем виде:

$$\gamma_0(t, \tau'_0) = \frac{\gamma_0(t, \tau')}{\tau'} \tau'_0 \quad (3a)$$

$$\gamma_0(t, \tau''_0) = \frac{\gamma_0(t, \tau'')}{(\tau'' - \tau')} (\tau''_0 - \tau'), \quad (4a)$$

где τ' — отрезок, отсекаемый прямой второго участка зависимости $\gamma = f(\tau)$ на оси напряжений (рис. 2, б).

Теперь надо решить вопрос об определении областей распространения затухающих и незатухающих деформаций ползучести — определить границы перехода из одной области деформирования в другую, которая совпадает с предельным напряжением сдвига τ_0 (порог ползучести по Н. Н. Маслову (4)).

Многочисленными экспериментами установлено (4, 5), что кривые зависимости $\gamma_0 = f(\tau)$, за исключением отдельных случаев, хоро-

но аппроксимируются ломаной линией (рис. 2, б). На основании этого было высказано мнение ⁽¹⁾, что при сдвиге существуют две области деформирования, граница между которыми определяется напряжением $\tau_{пр} = \tau_0$, называемым пределом структурной прочности грунта. Предел структурной прочности грунта определяется напряжением, соответствующим точке перелома кривой зависимости $\gamma_n = f(\tau)$, представленной ломаной линией (рис. 2, б). Установлено, что в первой области деформирования деформации ползучести являются затухающими, а во второй области — незатухающими, переходящими в течение. По нашим данным ⁽¹⁾ среднее значение $\tau_{пр\ ср} = \tau_0 \approx 0,45 \tau_{сд}$. Аналогичные результаты получили ранее К. Терциги и Р. Пек ⁽⁷⁾.

Исходя из изложенного выше, можно рекомендовать экспериментальные кривые ползучести типов (I) и (II) определить при следующих постоянных напряжениях: $\tau^I = 0,3 \tau_{сд}$ и $\tau^{II} = 0,6$ или $0,7 \tau_{сд}$. Тогда кривые ползучести, соответствующие напряжениям $\tau^I = 0,1$ и $0,4 \tau_{сд}$, можно будет определить по выражениям (3) и (3а), а кривые при $\tau^{II} = 0,5 - 0,85 \tau_{сд}$ — по выражениям (4) и (4а).

При аппроксимации зависимости $\gamma_n = f(\tau)$ (рис. 2, а) $\tau_{пр} = \tau_0$ можно определить по одному из существующих методов ^(1, 6). Описание семейства кривых ползучести, полученного в результате раздельного определения кривых двух групп (I) и (II), и определение характеристик ползучести грунта при сдвиге выполняется по известным методам ⁽¹⁾.

Следует здесь же отметить, что понятие предела структурной прочности, конечно, содержит в себе некоторую условность, обусловленную не скачкообразным, а постепенным разрушением структуры грунта.

На одном примере экспериментального исследования ползучести глинистого грунта (табл. 1) при сдвиге, выполненного испытанием под водой кольцевых образцов на кручение в модернизированных нами приборах „Гидропроект“ ⁽²⁾, проверим применимость изложенного выше метода для определения семейства кривых ползучести (рис. 3).

Таблица 1

Характеристики физических свойств грунта 19—69

Лабораторный номер грунта	Наименование	Сложение	Удельный вес, г/см ³ ($\gamma_{уд}$)	Объемный вес, г/см ³ (γ)	Влажность начальная (w_0), %	Степень влажности начальная (U_0)
19—69	Элювиальная глина (г. Ереван)	Естественное	2,62	1,92	27,05	0,96

¹ Эксперименты выполнены Р. Р. Галстяном под руководством и при участии автора.

Испытано пять пар образцов-близнецов, из коих четыре пары при постоянных относительных касательных напряжениях $\frac{\tau}{\tau_{сд}} = 0,3; 0,5; 0,7$ и $0,85$, а одна пара при напряжениях, возрастающих ступенями, $\frac{\tau}{\tau_{сд}} = 0,1 - 0,3 - 0,5 - 0,7 - 0,85$. Результаты опытов в виде экспериментальных кривых ползучести на правой части графика рис. 3 показаны сплошными линиями. На левой части того же графика приведены кривые зависимости $\gamma_n = f(\tau/\tau_{сд})$.

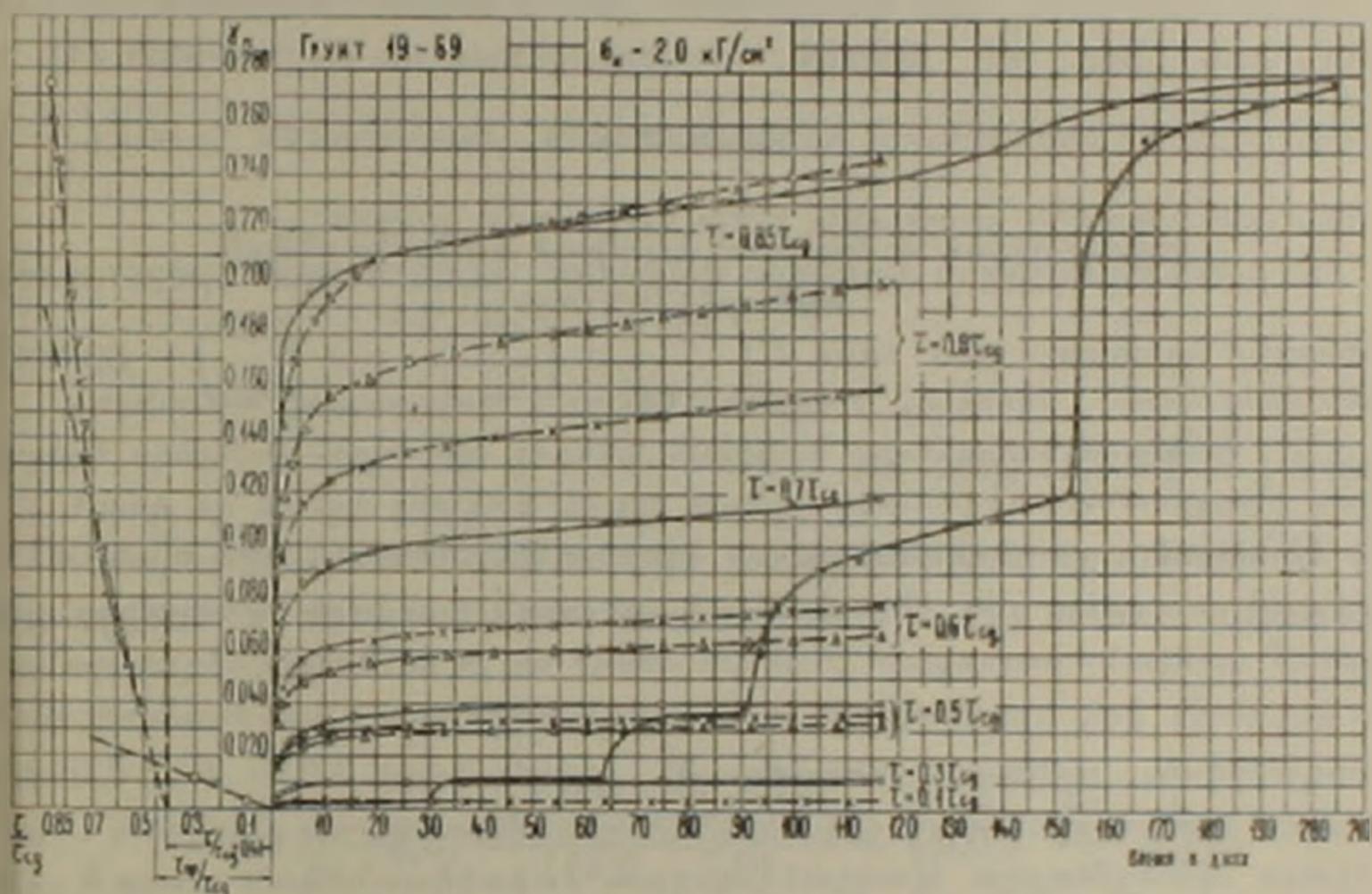


Рис. 3

В рассматриваемом примере (рис. 3) зависимость $\gamma_n = f(\tau/\tau_{сд})$ в пределах $\frac{\tau}{\tau_{сд}} = 0,1 - 0,3$, как и ранее (1), с достаточной точностью подчиняется линейному закону. В пределах $\frac{\tau}{\tau_{сд}} = 0,5 - 0,8$ зависимость $\gamma_n = f(\tau/\tau_{сд})$ аппроксимируется кривой, показанной штрих-треугольниками. Для иллюстрации примера определения кривых ползучести типа (II) при аппроксимации зависимости $\gamma_n = f(\tau/\tau_{сд})$ ломаной линией, эта часть указанной зависимости представлена и прямой, показанной штриховой линией.

Исходя из изложенного выше, по выражению (3а) определена кривая ползучести в случае $\tau^I = 0,1 \tau_{сд}$ (тип. I). Кривые ползучести (II) при напряжениях $\tau^{II} = 0,5; 0,6; 0,8$ и $0,85 \tau_{сд}$ определены для указанных выше двух аппроксимациях зависимости $\gamma_n = f\left(\frac{\tau}{\tau_{сд}}\right)$. При

определении кривых ползучести приведенными выше выражениями в качестве экспериментальной кривой ползучести типа (I) использована кривая, определенная при $\tau_k^I = 0,3 \tau_{ca}$, а типа (II) — кривая, определенная при $\tau_k^{II} = 0,7 \tau_{ca}$.

Кривая ползучести типа (I) при $\tau_k^I = 0,1 \tau_{ca}$, которая определена по выражению (3а), на правой части графика рис. 3 показана штрих-крестиками. Кривые ползучести типа (II) ($\tau_k^{II} = 0,5 - 0,8 \tau_{ca}$), при аппроксимации зависимости $\gamma_n = f\left(\frac{\tau}{\tau_{ca}}\right)$ ломаной линией, определены по выражению (4а). Они на графике рис. 3 также показаны штрих-крестиками. Эти же кривые, определенные по выражению (4), то есть исходя из нелинейной аппроксимации зависимости $\gamma_n = f\left(\frac{\tau}{\tau_{ca}}\right)$, на том же графике показаны штрих-треугольниками.

В рассматриваемом примере функция напряжения представлена степенной зависимостью вида $F\left(\frac{\tau_k^{II}}{\tau_{ca}}\right) = \left(\frac{\tau_k^{II}}{\tau_{ca}}\right)^{3,78}$, а $\left(\frac{\tau_k^I}{\tau_{ca}}\right)$ принята равной $\left(\frac{\tau_k^I}{\tau_{ca}}\right) = 0,41$ (рис. 3).

Например, для определения кривых ползучести при $\tau_k^{II} = 0,6 \tau_{ca}$ выражения (4а) и (4) соответственно записываются в следующем виде:

$$\begin{aligned} \gamma_n\left(t, \frac{\tau_k^{II}}{\tau_{ca}} = 0,6\right) &= \frac{\gamma_n\left(t, \frac{\tau_k^{II}}{\tau_{ca}} = 0,7\right)}{(0,7 - 0,41)} (0,6 - 0,41) = \\ &= 0,665 \cdot \gamma_n\left(t, \frac{\tau_k^{II}}{\tau_{ca}} = 0,7\right), \end{aligned} \quad (4а')$$

$$\begin{aligned} \gamma_n\left(t, \frac{\tau_k^{II}}{\tau_{ca}} = 0,6\right) &= \frac{\gamma_n\left(t, \frac{\tau_k^{II}}{\tau_{ca}} = 0,7\right)}{0,7^{3,78}} 0,6^{3,78} = \\ &= 0,558 \cdot \gamma_n\left(t, \frac{\tau_k^{II}}{\tau_{ca}} = 0,7\right). \end{aligned} \quad (4')$$

Из этого следует, что для получения кривой $\tau_k^{II} = 0,6 \tau_{ca}$ (рис. 3) ординаты экспериментальной кривой, определенной при $\tau_k^{II} = 0,7 \tau_{ca}$, надо умножить на 0,655 и 0,558 соответственно.

Сопоставление кривых ползучести типов (I) и (II), определенных по выражениям (3а) и (4), с экспериментальными кривыми показывает их вполне удовлетворительное совпадение (рис. 3). Что же касается кривых типа (II), определенных по выражению (4а), то есть при аппроксимации зависимости $\gamma_n = f(\tau/\tau_{ca})$ ломаной линией, то (за

исключением $\tau_{\text{с}}^{\text{II}} = 0,8$ и $0,85 \tau_{\text{с1}}$) их совпадение с экспериментальными кривыми также вполне удовлетворительное.

Резюмируя изложенное выше, можно заключить, что для определения семейства кривых ползучести при сдвиге (одноосном и трехосном сжатиях) можно применить метод испытания трех (шести—при двухкратной повторности опыта) образцов-близнецов, который почти на половину сокращает общий объем экспериментальных работ.

Институт математики и механики
Академии наук Армянской ССР

Ա. Ռ. ՄԵՍՉԻԱՆ

Սահմանի դեպքում կապային բնահողերի սողի կորերի որոշման եղանակ

Հողվածում շարադրված է սահքի դեպքում կապային բնահողերի սողի կորերի որոշման հեղինակի կողմից մշակված գործնական եղանակ:

Քանի որ սահքի դեպքում սողի կորերի ընտանիքը բաժանվում է մարող (I) և շմարող (II) ձևափոխությունների կորերի խմբերի, ապա հեղինակի կողմից նախկինում մշակված մոտավոր եղանակը (2) այս դեպքում կիրառելու համար փորձարկվում են ոչ թե երկու, այլ երեք երկվորյակ նմուշներ: Դրանցից մեկը փորձարկվում է աստիճաններով աճող բեռնվածքով, իսկ մյուս երկուսը՝ $\tau^{\text{I}} = 0,3 \tau_{\text{с1}}$ և $\tau^{\text{II}} = 0,6$ (կամ $0,7$) $\tau_{\text{с1}}$ հաստատուն շոշափող բեռնվածքներով ($\tau_{\text{с1}}$ բնահողի սահքի ստանդարտ դիմադրություն): Ունենալով այս երեք կորերը և դրանց մաթեմատիկական ապրոքսիմացիայի արդյունքները, օգտվելով հեղինակի երկու նմուշների փորձարկման եղանակից, զատ-զատ որոշվում են մարող և շմարող ձևափոխությունների կորերի խմբերը:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- 1 С. Р. Месчян, Ползучесть глинистых грунтов, Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1967.
- 2 С. Р. Месчян, «Известия АН Арм. ССР», серия физ.-мат. наук, т. 17, № 3 (1964).
- 3 Р. Р. Галстян, С. Р. Месчян, «Известия АН Арм. ССР», серия Механика, т. 24, № 1 (1971).
- 4 И. Н. Маслов, К вопросу об условиях проявления ползучести глинистых грунтов в основании подпольных сооружений, Научные доклады высшей школы, «Строительство», № 1, 1958.
- 5 E. Geuse, *Tan Tjong-Kle*, The mechanical behavior of clays, Proc. of the second Intern. congress on Rheology, London, 1954.
- 6 М. Н. Гольштейн, С. С. Бабицкая, В. А. Мизюмский, «Вопросы геотехники», № 5, 1962.