

ТЕОРИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ

С. Р. МЕСЧЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ
ПРИ СДВИГЕ

В работе рассматриваются вопросы исследования закономерностей ползучести глинистых грунтов и результаты их математической интерпретации в соответствии с теорией упруго-ползучего тела Г. Н. Маслова—Н. Х. Арутюняна [1, 2].

§ 1. Закономерности ползучести глинистых грунтов. За последнее время выполнено довольно много работ [8, 3, 4, 5, 9, 11, 12, 15], посвященных исследованию реологических свойств глинистых грунтов при сдвиге. Эгими работами установлено, что глинистые грунты, в зависимости от их состояния в момент испытания, ведут себя как ньютоновская вязкая (структурированная) жидкость, так и условно-пластическое тело (в ряде случаев они могут обладать также свойствами упруго-хрупких и упруго-пластичных тел). Поэтому для выражения зависимости касательное напряжение q —скорость установившейся ползучести (течения) $d\gamma_n/dt = \dot{\gamma}(q)$ обычно пользуются реологическим уравнением состояния ньютоновской вязкой жидкости или тела Шведова-Бингама. Для определения предельного напряжения сдвига (течения) θ пользуются как условием пластичности Н. Н. Маслова [3], так и экстраполяцией на ось напряжений экспериментальной зависимости касательные напряжения—скорости деформации сдвига [4].

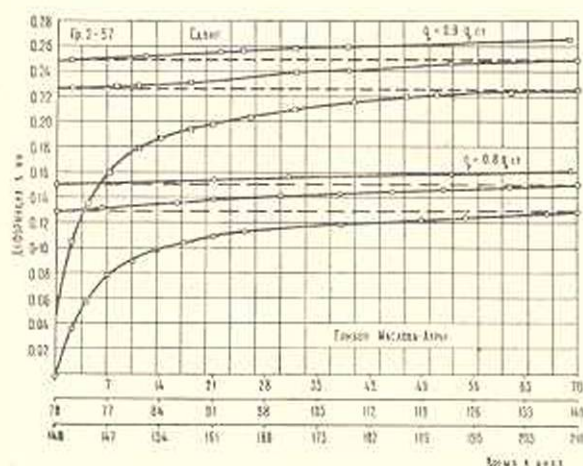
Большим достоинством реологических уравнений состояния ньютоновской вязкой жидкости и тела Шведова-Бингама является простота. Вместе с тем они не в состоянии воспроизвести реальное поведение тела под напряжением. По ним невозможно достаточно точно определить деформации ползучести материала, так как рассматриваются только протекающие с постоянной скоростью деформации, пренебрегая затухающими деформациями, проявляющимися как при $q < \theta$, так и при $q > \theta$, до наступления стадии течения.

Чтобы убедиться в сказанном, познакомимся с несколькими кривыми ползучести сдвига, полученными нами [5] при испытании образцов грунтов на ползучесть в приборах одноплоскостного среза Н. Н. Маслова—Ю. Ю. Лурье и кольцевого сдвига Гидропроекта.

На фиг. 1 и 2 приведены деформации ползучести образцов-близнецов суглинка 2—57, испытанных на указанных выше приборах. Образцы-близнецы испытаны на ползучесть при $\sigma_z = 2 \text{ кг/см}^2$, $q = 0,8$ и

0,9 от $q_{ст}$ или $M = 0,8$ и 0,9 от $M_{пр}$ ($q_{ст}$ и $M_{пр}$ — сопротивление сдвигу и предельный крутящий момент, определяемые по стандартной методике, изложенной в [6]).

Рассмотрение кривых, приведенных на фиг. 1 и 2, показывает, что наступлению стадии установившейся ползучести (течения) пред-

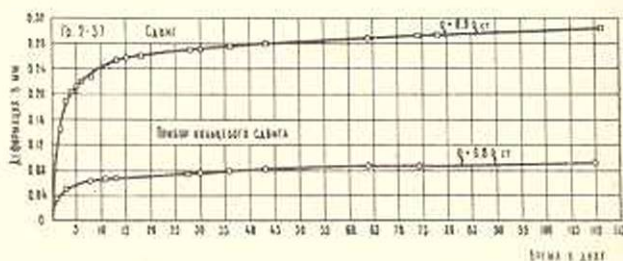


Фиг. 1.

шествует стадия затухающей ползучести, продолжительность которой достигает до трех месяцев. При этом доля затухающей ползучести в общей деформации сдвига довольно большая и, поэтому, очевидно, нельзя считать правильным игнорирование деформациями указанной стадии [5]. Нельзя также считать правильным экстраполяцию прямого участка кривой ползучести на ось

деформации, в целях математической аппроксимации экспериментальных данных реологическим уравнением состояния Максвеллова тела (Тан Тьенг-ки, [7]).

Отнесение глинистых грунтов к Максвелловому телу вызвано недостаточной длительностью проведения испытаний на ползучесть и

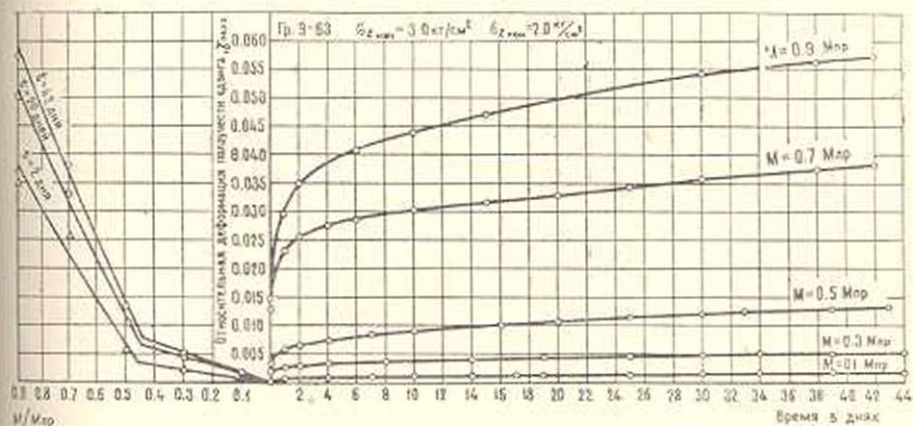


Фиг. 2.

кажущимся наступлением стадии установившейся ползучести (течения). Известно, что в опытах Гёза и Тан Тьенг-ки [8] с продолжительностью 48 часов, стадия течения „наступала“ через 5 часов после момента загрузки образца. Совершенно очевидно, что этот результат никак нельзя считать правильным. Достаточно посмотреть на кривые ползучести, приведенные на фиг. 1 и 2, чтобы убедиться в этом. Об этом свидетельствуют также исследования С. Е. Могилевской [9].

Чтобы стадию затухающей ползучести отличить от стадии установившейся ползучести (течения), надо выполнить длительные опыты на ползучесть.

По изложенной выше причине нельзя считать достаточно обоснованным определение скорости течения грунта по отрезку кривой ползучести, соответствующей 5—15 суткам после момента приложения ступени касательного напряжения [4]. Определенная по такой методике скорость деформации всегда будет больше истинной скорости течения грунта. Возможна также ошибка в установлении величины предельного напряжения сдвига θ . Вполне возможно, что кривая, считавшаяся незатухающей в пределах $t = 10 - 15$ суток (кривая $M = 0,3 M_{пр}$, фиг. 3), может оказаться затухающей при более длительной продолжительности опыта. Ибо, как отмечают Н. В. Михайлов и П. А. Ребиндер [10] и как доказано экспериментами [5], при очень медленной деформации условно-пластические тела (коагуляционные структуры) способны упрочняться во времени.



Фиг. 3.

Несмотря на то, что для определения скорости течения грунта Тян Тьенг-ки [11] предлагает выдержать образец под нагрузкой до наступления стадии установившейся ползучести, его же опыты не удовлетворяют этому условию. При испытании ланджоуйского лёсса за ползучесть длительность выдерживания образца под ступенью нагрузки равнялась 14 дням.

Для получения более полного представления о поведении глинистого грунта при длительном действии касательных напряжений, познакомимся с семейством кривых ползучести, приведенным на фиг. 3.

Кривые ползучести семейства, приведенные на фиг. 3, получены испытанием серии образцов-близнецов на приборах кольцевого сдвига. До опыта образцы-близнецы сперва были подвергнуты предварительному уплотнению напряжениями $\sigma_z = 3 \text{ кг/см}^2$, а затем разгружены до напряжения $\sigma_z = 2 \text{ кг/см}^2$, под которым и испытаны на ползучесть. Длительность предварительного уплотнения образцов была около одного месяца. Данные, характеризующие физические свойства образцов грунта после опыта, сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Лаб. № грунта	Наимено- вание	№ № опытов	Удельный вес γ , г/см ³	Объемный вес γ_s , г/см ³	Влажность w , %	Пределы пластичности		
						Предел текуче- сти	Предел пластич- ности	Число пластич- ности
9-63	глина	9 980— 9 996	2.68	1.82	33.0	42.4	24.4	18.0

Образцы-близнецы были испытаны на сдвиг при относительных крутящих моментах, равных $M/M_{пр} = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$. $M_{пр}$ — предельный крутящий момент (соответствующий предельному сопротивлению грунта сдвигу) определялся испытанием трех образцов-близнецов на сдвиг по стандартной методике [6], то есть касательные напряжения наращивались ступенями по $q = 0.1$ кг/см², а последующая ступень прикладывалась к образцу после условной стабилизации деформации сдвига. Порядок приложения крутящего момента (касательного напряжения) до заданного M точно такой же, как и при определении $M_{пр}$.

Деформации сдвига измерялись по наружной окружности кольцевого образца индикаторами часового типа с точностью 0.002 мм. Зная M , можно определить величину касательного напряжения. Однако, для простоты и наглядности обсуждения результатов экспериментов мы будем пользоваться величиной относительного крутящего момента $M/M_{пр}$.

Опыты выполнялись двукратно на образцах нарушенной структуры. Чтобы предотвратить испарение влаги из грунта, в течение всего опыта образцы находились в водяном окружении. Кольца, окружающие образец, покрывались тавотом.

Из графика фиг. 3 следует, что при $M/M_{пр} = 0.1$ и 0.3 деформации грунта во времени полностью протекают в стадии затухающей ползучести. В конце опыта, начиная от $t = 30$ дней, деформации практически прекращаются. Вернее, они протекают настолько медленно, что на указанном промежутке их невозможно измерить.

Кривые ползучести, соответствующие $M/M_{пр} = 0.5, 0.7$ и 0.9 , вначале обнаруживают тенденцию затухания, а затем, после наступления стадии установившейся ползучести, спрямляются, то есть принимают форму течения. В рассматриваемом случае, длительность стадии затухающей ползучести колеблется в пределах 30 дней. Эти кривые еще раз подтверждают правильность высказанных выше соображений о характере изменяемости деформации сдвига во времени.

Примечательным является то, что ни в одном случае испытания образцов не обнаружено наступление третьей стадии деформирования — стадии прогрессирующего течения (разрушения). А это значит, что при $M < M_{пр}$, то есть при касательных напряжениях, не превышающих стандартное сопротивление сдвигу $q_{ст}$, деформации ползуче-

сти сдвига протекают только в первых двух стадиях деформирования — затухающей и установившейся ползучести.

Теперь посмотрим как выглядит кривая зависимости деформация ползучести сдвига — относительный крутящий момент $M/M_{пр}$.

Кривые указанной зависимости для различных моментов времени t после приложения к образцам-близнецам крутящих моментов $M/M_{пр}$ приведены на левой части графика фиг. 3. Как и в случае ползучести грунтов при сжатии в компрессионных приборах, так и в рассматриваемом случае, зависимость $\gamma_{полз} = f(M/M_{пр})$ аппроксимируется двумя прямыми с различными углами наклона к оси ординат, то есть с различными модулями деформации ползучести сдвига. Это, как было отмечено выше, свидетельствует о наличии двух областей деформирования. Граница между указанными областями определяется крутящим моментом (напряжением), соответствующим пределу структурной прочности грунта.

В первой области деформирования деформации ползучести носят структурно-адсорбционный, а во второй — характер структурных деформаций [13]. Переход из одной области в другую является результатом разрушения структуры, которой обладает грунт в начале загрузки.

Из рассмотрения кривых деформация ползучести сдвига — относительный момент следует, что предел структурной прочности грунта практически не зависит от длительности испытания и примерно равен $M/M_{пр} \approx 45$, то есть примерно половине стандартного сопротивления грунта сдвигу. Если принять во внимание то обстоятельство, что при $M/M_{пр} = 0.1$ и $0.3 < 0.45$ кривые ползучести являются затухающими, нетрудно будет понять, что предел структурной прочности является тем пределом, ниже которого деформации ползучести затухают, а выше — нет. Иначе говоря, предел структурной прочности грунта совпадает с условно-динамическим пределом текучести структурированных жидкостей и с границей условно-упругой области условно-пластичных тел. В ряде случаев, в зависимости от состояния грунта, он может являться истинным пределом текучести.

Если грунт не обладает пределом структурной прочности, то есть предельным напряжением сдвига θ , как, например, пластичная глина, при всех касательных напряжениях он проявляет способность течения с постоянной скоростью.

Небезынтересно отметить, что при рассмотрении вопроса о сдвиговых деформациях глинистых грунтов во времени К. Терцаги и Р. Пек [14] отмечают, что «как только касательные напряжения в глине становятся больше примерно половины пикового значения, глина, по-видимому, может «ползти» при постоянной сдвигающей силе. Другими словами, кривая время-деформация приближается к наклонной, а не к горизонтальной асимптоте». Полученный нами результат является прямым доказательством справедливости изложенного мнения.

Понятно, что предел структурной прочности является переменной величиной, зависящей от свойств грунта в момент испытания. По результатам, полученным при определении зависимости касательное напряжение—мгновенная деформация переуплотненных паст, его величина в долях от сопротивления грунта сдвигу изменяется в следующих пределах (табл. 2).

Таблица 2

Лаб. № грунта	Величина нормального напряжения σ_z кг/см ²		
	1.0	2.0	4.0
4—57	—	0.55	—
9—63	0.4	0.35 (0.5)	0.4

Из изложенного следует, что для определения предельных напряжений сдвига (порог ползучести по Н. Н. Маслову [3]), ниже которых деформации ползучести имеют затухающий характер, можно воспользоваться также величиной предела структурной прочности сдвига, определяемой по зависимости касательное напряжение—деформация ползучести сдвига.

Надо отметить, что аппроксимация зависимости $\tau_{полз} = f(M/M_{пр})$ двумя прямыми впервые была выполнена Гёзом и Тан Тьенг-ки [8]. Однако, по причине малой продолжительности опытов, течение грунта было обнаружено и в первой области деформирования. Поэтому не случайно, что для предельного напряжения ими получены явно заниженные величины 0.02—0.1 кг/см².

По данным Н. Н. Маслова, С. Н. Сотникова и С. Е. Могилевской [3], предельное напряжение сдвига (порог ползучести) саратовской глины нарушенной структуры колеблется в пределах $\bar{b} = 0.35—0.45$ кг/см², а для кинельской глины и лёссовидного суглинка ненарушенной структуры— $\bar{b} = 0.32—1.5$ кг/см². По нашим данным предел структурной прочности переуплотненных паст (грунты № № 4—57 и 9—63), то есть предельное напряжение сдвига, колеблется в пределах $\bar{b} = 0.17—0.81$ кг/см².

§ 2. Описание кривых ползучести. При описании экспериментальных кривых ползучести использованы основные интегральные соотношения линейной (1) и нелинейной (2) теорий упруго-ползучего тела Г. Н. Маслова—Н. Х. Арутюняна [1, 2]

$$\tau_{полз}(t) = - \int_0^t q(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{1}{G(\tau)} + \omega(t, \tau) \right] d\tau, \quad (1)$$

$$\gamma_{\text{полз}}(t) = - \int_{t_1}^t F[q(\tau)] \left[\frac{\partial \omega(t, \tau)}{\partial \tau} \right] d\tau, \quad (2)$$

где $\omega(t, \tau)$ — мера ползучести сдвига, определяемая выражением вида

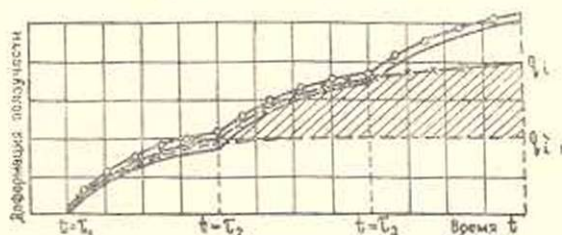
$$\omega(t, \tau) = \varphi(\tau) [1 - e^{-\eta(t-\tau)}], \quad (3)$$

$G(t)$ — модуль мгновенной деформации сдвига в момент (τ) приложения касательного напряжения (q) ; $F(q)$ — функция напряжений, характеризующая нелинейную зависимость между $\gamma_{\text{полз}}$ и q ; $\varphi(\tau)$ — функция старения, характеризующая изменение свойств грунта во времени („старение“). В рассматриваемом здесь случае $\varphi(\tau) = C_0 = \text{const}$.

Приведем два примера описания семейств кривых ползучести, определенных испытанием образцов-близнецов нарушенной структуры на приборах одноплоскостного среза [15] и кольцевого сдвига.

Для описания семейств кривых ползучести, полученных испытанием образцов-близнецов на приборах одноплоскостного среза Г. Н. Маслова — Ю. Ю. Лурье,

кривые ползучести были определены не обычным, прямым, а обратным методом. По этому методу нагружение образца до заданной величины касательного напряжения выполняется приложением нагрузок ступенями по



Фиг. 4.

$q = 0.025 \text{ кг/см}^2$ с интервалом 10 минут (схема нагружения образцов показана на фиг. 4). Определение деформаций ползучести, соответствующих какому-либо заданному напряжению q_n , осуществляется сум-

мированием приращений деформаций ползучести $\gamma_{\text{полз}}(t) = \sum_{i=1}^n \Delta_i \gamma(t)$

от приращения напряжений $\Delta_i q$. Приращения деформаций ползучести, соответствующие приращению напряжения $\Delta_i q = q_i - q_{i-1}$, определяются как разность ординат кривых ползучести при q_i и q_{i-1} (фиг. 4).

На правой части фиг. 5 сплошными линиями показаны кривые ползучести, соответствующие различным значениям касательных напряжений, построенные указанным выше способом. На левой части того же графика сплошными линиями показаны кривые — зависимости $\gamma_{\text{полз}} = f(q)$, построенные на основании семейства кривых для различных t (t — длительность нагружения).

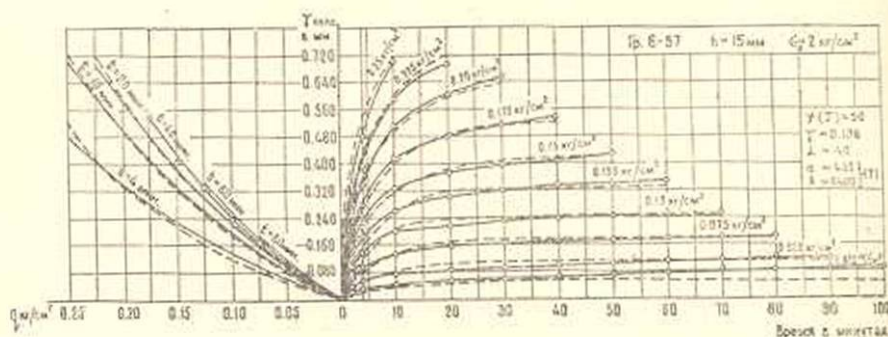
Для описания единичной кривой ползучести использовано выражение (3), а для перехода от этой кривой к другим, учитывая нелинейную связь между касательными напряжениями и деформациями ползучести сдвига, — выражение (4)

$$\gamma_{\text{полз}}(t) = \omega(t) \cdot F(q, t). \quad (4)$$

Функция напряжений $F(q, t)$ определялась зависимостью вида

$$F(q, t) = \alpha q + \beta(t) q^n, \quad (5)$$

где α — параметр, $\beta(t)$ — некоторая функция, учитывающая длительность нагружения t , $\beta(t) = \frac{\beta^*(t)}{q_{\text{ср}}^{n-1}}$.



Фиг. 5.

Для наших экспериментов $\beta(t)$ определялась зависимостью вида

$$\beta^*(t) = \lambda(1 - e^{-kt}). \quad (6)$$

На правой половине фиг. 5 пунктирами показаны кривые, определенные на основании зависимостей (4), (5) и (6) при соответствующем подборе параметров. Для аппроксимации зависимостей между напряжениями и деформациями ползучести сдвига (левая часть фиг. 5), соответствующим длительностям нагружения 4, 10 и 20 мин, использовано выражение (5). Переход от функции напряжения $F(q)$ к указанной выше зависимости и наоборот объяснений не требует.

В приведенном примере для описания единичной кривой ползучести использовано уравнение меры ползучести (3), справедливое для затухающих деформаций. Однако, поскольку из-за неподобия кривых ползучести, при определении $\gamma_{\text{полз}} = f(q)$ и $F(q)$ учитывалась и длительность нагружения t , стало возможным использовать выражение (3) для описания как затухающих, так и незатухающих деформаций.

Иначе говоря, введением в функцию напряжений $F(q)$ независимой переменной t стало возможным описать кривые ползучести без разделения деформаций на затухающие и незатухающие. Но, чтобы избежать усложнений выражений и получить возможность экстраполирования деформаций установившейся ползучести (течения) на более длительное время, можно $\gamma_{\text{полз}}(t)$ рассмотреть как сумму затухающих и незатухающих деформаций ползучести.

В этом случае выражение (3) запишется в следующем виде:

$$\gamma_{\text{полз}}(t) = C_0 [1 - e^{-\gamma(t-t_0)}] F_1(q) + Q_0 \cdot (t - \tau) F_2(q). \quad (7)$$

где Q_0 —коэффициент, характеризующий скорость течения при $q = 1$; $F_1(q)$ и $F_2(q)$ —функции напряжений, характеризующие нелинейную зависимость между напряжениями, деформациями затухающей и незатухающей ползучести соответственно. Обе функции удовлетворяют условию: $F_1(1) = 1$ и $F_2(1) = 1$.

Когда грунт обладает предельным напряжением сдвига θ (порог ползучести), а зависимость касательное напряжение—деформация установившейся ползучести подчиняется линейному закону, выражение (7) принимает следующий вид:

$$\gamma_{\text{полз}}(t) = C_0 [1 - e^{-\tau(t-\tau)}] F_1(q) + Q_1 \cdot (t - \tau) (q - \theta), \quad (8)$$

где Q_1 —коэффициент, характеризующий скорость течения грунта при $q - \theta = 1$.

Если вместо зависимости $q - \gamma''_{\text{полз}}$ (γ'' —деформация установившейся ползучести) воспользоваться зависимостью $q - \dot{\gamma}''$ ($\dot{\gamma}''$ — скорость установившейся ползучести), из (8) получим

$$\gamma_{\text{полз}}(t) = C_0 [1 - e^{-\tau(t-\tau)}] F_1(q) + \frac{q - \theta}{\tau} (t - \tau), \quad (9)$$

где τ —коэффициент вязкости.

На примере семейства кривых ползучести, приведенного на фиг. 3, исходя из расчленения деформаций на затухающие и незатухающие (фиг. 6), выполнено описание кривых ползучести.

На фиг. 6а приведены графики кривых затухающих деформаций ползучести, а на фиг. 6б—деформаций установившейся ползучести, определенных на основании экспериментальных кривых, показанных на фиг. 3.

Для описания единичной кривой, соответствующей $M/M_{\text{пр}} = 0.1$, использовано выражение вида [20]

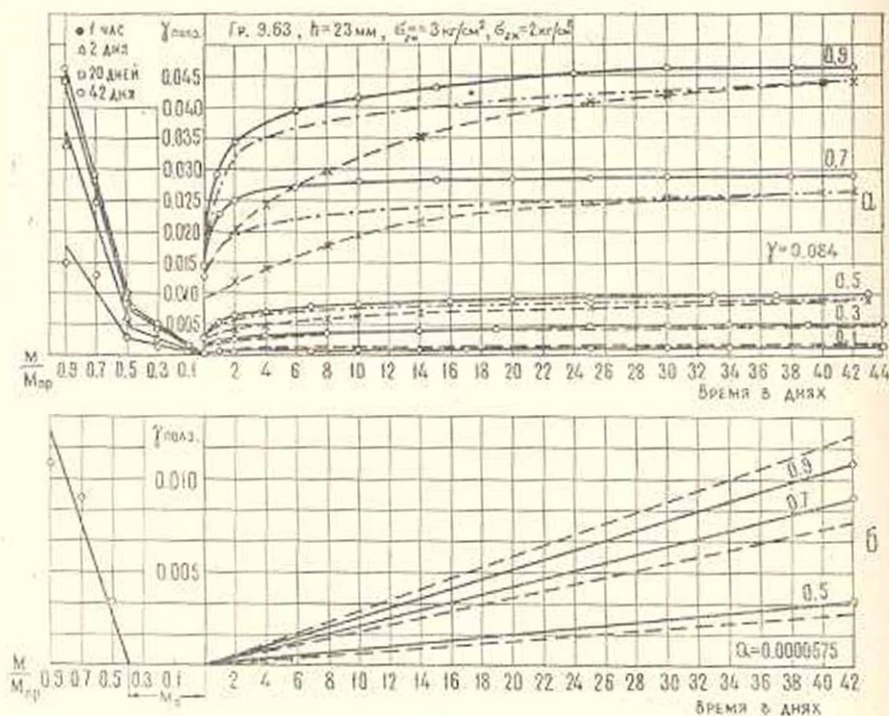
$$\omega(t) = A + (C_0 - A) [1 - e^{-\tau t}], \quad (10)$$

где C_0 —предельное значение меры ползучести, A —деформация ползучести, соответствующая часу после момента загрузки.

На графике фиг. 6а пунктирами показаны кривые, построенные по выражению (10), исходя из условия линейной зависимости между напряжениями и деформациями ползучести сдвига, с учетом изменчивости модуля деформации после $M = M_0$ (M_0 —крутящий момент, соответствующий пределу структурной прочности грунта), но без учета влияния длительности загрузки t , а точками-тире—кривые, построенные с ее учетом. Как видно из указанного графика, неучет длительности загрузки t , приводит к плохому, а учет—к удовлетворительному описанию кривых ползучести.

Для описания кривых установившейся ползучести, показанных на фиг. 6б, в левой части указанного графика построена кривая $\gamma_{\text{полз}} = f(M/M_{\text{пр}})$, а по кривой, соответствующей $M/M_{\text{пр}} = M_0 = 1$, опреде-

лен параметр $Q_1 = 0.0000675$. По величинам Q_1 и $M_0 \approx 0.4$ выполнено описание кривых установившейся ползучести, которое на том же графике показано пунктиром. Расхождение между опытными кривыми и кривыми, построенными по Q_1 и M_0 , находится в пределах 15%.



Фиг. 6.

С той же целью, в соответствии с выражением (9), вычислены скорости течения для $M/M_{пр} = 0.5, 0.7$ и 0.9 и построена кривая зависимости относительная скорость деформации сдвига ($\dot{\gamma}$) — $M/M_{пр}$ (фиг. 7). Как видно из графика фиг. 7, зависимость $d\gamma_{полз}/dt = f(M/M_{пр})$ выражается прямой, отсекающей на оси $M/M_{пр}$ отрезок, соответствующий пределу структурной прочности грунта и предельному напряжению сдвига θ (порог ползучести по Н. Н. Маслову). Следовательно, течение грунта при различных касательных напряжениях протекает при постоянной вязкости. Коэффициент вязкости в рассматриваемом случае определяется величиной $\eta = 1.5 \times 10^{14}$ пуаз.

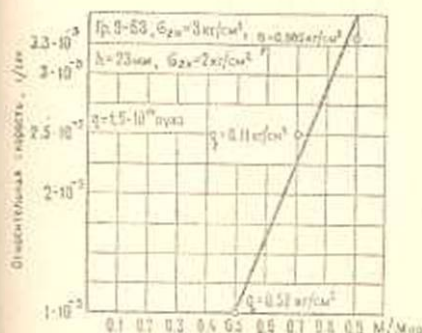
При переменном во времени касательном напряжении выражения (7), (8) и (9) соответственно переписываются в виде (11), (12) и (13)

$$\gamma_{полз}(t) = - \int_{\tau_1}^t F_1[q(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \omega(t, \tau) d\tau + \int_{\tau_1}^t F_2[q(\tau)] Q_0(\tau) d\tau, \quad (11)$$

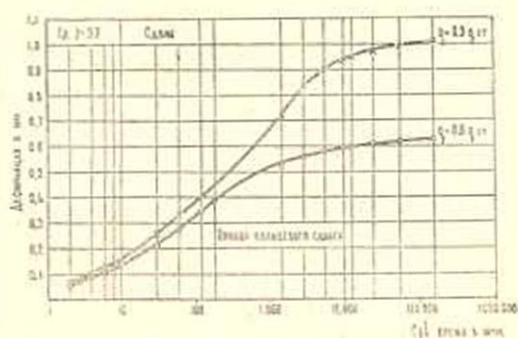
$$\gamma_{полз}(t) = - \int_{\tau_2}^t F_1[q(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \omega(t, \tau) d\tau + \int_{\tau_2}^t [q(\tau) - \theta(\tau)] Q_1(\tau) d\tau, \quad (12)$$

$$\gamma_{полз}(t) = - \int_{\tau_1}^t F_1[q(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \omega(t, \tau) d\tau + \int_{\tau_2}^t \frac{1}{\eta(\tau)} [q(\tau) - \theta(\tau)] d\tau, \quad (13)$$

где $F_1(q)$ и $F_2(q)$ — функции напряжений деформаций затухающей и незатухающей ползучести; Q_0 — скорость течения при $q = 1$; Q_1 — скорость течения при $q - \theta = 1$; $\frac{1}{\eta(\tau)}$ — скорость ползучести при $q - \theta = 1$, η — коэффициент вязкости; τ_2 — время, необходимое для достижения q величины предельного напряжения сдвига (θ).



Фиг. 7.



Фиг. 8.

Отметим, что интегральные выражения (11), (12) и (13) применимы при возрастающих напряжениях, а их справедливость должна быть еще проверена путем сравнения деформаций при различных режимах нагружения.

Если, как обычно [2], принять, что при сложном напряженно-деформированном состоянии грунта интенсивности напряжений σ_i и деформаций l_i связаны той же зависимостью, что и при простом сдвиге, то $l_i = l_i(\sigma_i, t, \tau)$ при нелинейной ползучести (в соответствии с 2 и 11) будет выражаться следующими уравнениями:

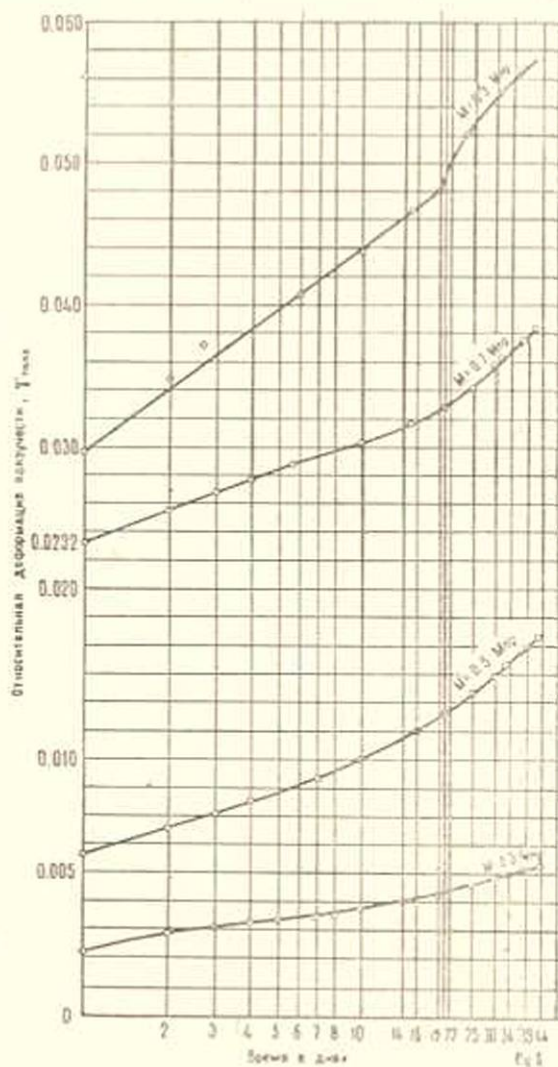
$$l_i(t) = \frac{\sigma_i(t)}{G(t)} - \int_{\tau_1}^t \sigma_i(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{1}{G(\tau)} \right] d\tau - \int_{\tau_1}^t F_1 \left[\sigma_i(\tau) \right] \frac{\partial}{\partial \tau} \omega(t, \tau) d\tau, \quad (14)$$

$$l_i(t) = \frac{\sigma_i(t)}{G(t)} - \int_{\tau_1}^t \sigma_i(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{1}{G(\tau)} \right] d\tau - \int_{\tau_2}^t F_2 \left[\sigma_i(\tau) \right] \frac{\partial}{\partial \tau} \omega(t, \tau) d\tau + \\ + \int_{\tau_1}^t F_2 \left[\sigma_i(\tau) \right] Q_0(\tau) d\tau. \quad (15)$$

Чтобы проверить возможность описания кривых ползучести логарифмической и степенной зависимостями Г. И. Покровского — К. Бюисмана [16, 17] и Штрауба [18]

$$\dot{\gamma}_{полз}(t) = A t^m \sigma^n, \quad (16)$$

на фиг. 8, 9 и 10 в полулогарифмической и логарифмической сетках координат показаны кривые, приведенные ранее на фиг. 2 и 3.



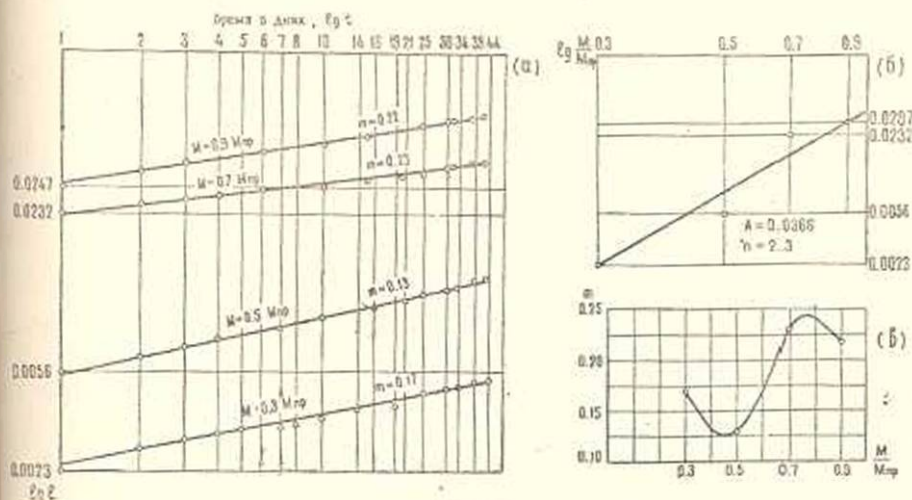
Фиг. 9.

Нанесение экспериментальных данных на указанные сетки координат показывает, что логарифмические зависимости не подходят для описания кривых ползучести сдвига, а степенная зависимость может быть использована для этой цели. Параметры A и n , входящие в степенную зависимость (16), с достаточной точностью могут быть при-

ияты за постоянные величины. Что же касается параметра m , то он находится в очень сложной зависимости от M/M_{op} (фиг. 10).

Из изложенного следует, что при подобии кривых ползучести, вместо выражения (5), в качестве функции напряжений можно использовать

$$F(q) = q^n. \quad (17)$$



Фиг. 10.

Пользуясь случаем, считаем нужным отметить, что в работе [19], в выражениях функции напряжений $F(\sigma)$ и меры ползучести $C(t)$ имеются опечатки. Вместо $F(\sigma) = A\sigma^n$ надо читать $F(\sigma) = A^n$, а вместо $C(t) = t^m$ надо читать $C(t) = At^m$ [12].

Институт математики и механики
АН Армянской ССР

Поступила 29 V 1964

И. И. ИВАНОВ

ԿԱՎԱՅԻՆ ԲՆԱՀԱՂԵՐԻ ՍՈՂՔԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՍԱՀՔԻ ԴԵՊԻՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում բերված են խախտված կազմվածք ունեցող կախված ընտ-
նողների սողքի օրինաչափությունների ուսումնասիրության արդյունքները սահ-
քի ղեկավարում: Նրանք ստացվել են կարման մեկ հարթություն ունեցող և օդա-
կային սարքերում նմուշների փորձարկման հետևանքով:

Պարզված է, որ սողքային ձևափոխությունները սահքի ղեկավարում, կախ-
ված լարման մեծությունից, նրա աղգման տեսակից և նյութի հատկու-
թյուններից, կարող են լինել ինչպես մարդ, այնպես էլ չմարդ: Ըստ որում,
նդհուպ մինչև $q = 0.9 - 0.95 q_{\infty}$ (q — շոշափող լարումն է, իսկ q_{∞} — բնա-

հողի սահքի ստանդարտ զիմադրությունն է) սողքային ձևափոխությունները ընթանում են երկու՝ մարման և հաստատուն ձևափոխությունների ոլորտներում:

Բերված են սողքի կորերի զրանցման արդյունքները Գ. Ն. Մալով—Ն. Խ. Հարությունյանի առաձգա-սողքային մարմնի տեսության հիմնական տեսություններով, ինչպես նաև հեղինակի կողմից առաջարկված անշտություններով, որոնց հիմքում ընկած է մարդ և չմարդ սողքի կորերի առանձին-առանձին զրանցման սկզբունքը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Маслов Г. Н. Термонапряженное состояние в бетонных массивах с учетом ползучести бетона. Известия ВНИИГ, 28, 1940.
2. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехтеориздат, М., 1952.
3. Маслов Н. Н. К вопросу об условиях проявления ползучести глинистых грунтов в основаниях подпорных сооружений. Научные доклады Высшей школы. Строительство, № 1, 1958.
4. Сотников С. Н. Закономерности развития деформации ползучести глинистых грунтов при сдвиге. Научное сообщение ЛИСИ, 1960.
5. Месчян С. Р. К вопросу о длительном сопротивлении глинистых грунтов сдвигу. Известия АН Арм. ССР, серия физ.-мат. наук, 15, № 2, 1962.
6. Руководство по лабораторному определению физико-механических характеристик грунтов при устройстве оснований сооружений. Госстройиздат, М., 1956.
7. Tan Tjong-kie. Secondary time effects and consolidation of clays. Scientia Sinica, 7, № 11, 1958.
8. Geuse E., Tan Tjong-kie. The mechanical behaviour of clays. Proc. of the Second Intern. Congress on Rheology, London, 1954.
9. Мозилевская С. Е. Вопросы ползучести и длительной прочности глинистых грунтов в связи с давлением на подпорные стенки. В кн. «Исследование физико-механических свойств горных пород». Изд. АН СССР, 1962.
10. Михайлов Н. В. и Ребиндер П. А. О структурно-механических свойствах дисперсных и высокомолекулярных систем. Коллоидный журнал, 17, № 2, 1955.
11. Tan Tjong-kie. Proceedings of the 5-th ICOSOMEF. Discussion, 3, 141, 1961, Paris.
12. Месчян С. Р. Экспериментальное изучение закономерностей деформации ползучести глинистых грунтов. Известия АН Арм. ССР, серия физ.-мат. наук, 16, № 1, 1963.
13. Денисов Н. Я. О природе деформации глинистых пород. Изд. Минвосточного СССР, М., 1951.
14. Терцаги и Пек Р. Механика грунтов в инженерной практике. Госстройиздат, М., 1958.
15. Месчян С. Р. Исследование деформативных свойств связных грунтов при сдвиге. ДАН Арм. ССР, 28, № 5, 1959.
16. Покровский Г. И. Применение принципа Больцмана к расчету осадки фундаментов. Труды ВНОС, ст. 1. Госстройиздат, М., 1933.
17. Buissman K. Results on long duration settlement tests. Proc. 1-st ICOSOMEF, 1, 100—106, Cambridge, 1936.
18. Straub. Proceedings of the Amer. Soc. of Civ. Eng., 1931.
19. Месчян С. Р. и Маркарян Э. М. Изучение ползучести водонасыщенного грунта. Известия АН Арм. ССР, серия физ.-мат. наук, 17, № 4, 1964.
20. Kohlrausch F. Experimentale Untersuchungen über die elastische Nachwirkung bei der Torsion, Ausdehnung und Biegung. „Pogg. Ann.“ 1876. Bd. 158, S. 337.