

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

С. Р. Месчян

Исследование деформативных свойств связных
 грунтов при сдвиге

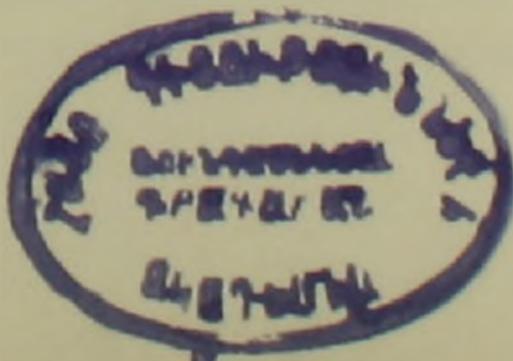
(Представлено академиком АН Армянской ССР
 Н. Х. Арутюняном 1. V. 1959)

Известно ⁽¹⁾, что при решении задач прочности и устойчивости оснований и земляных сооружений по теории предельного равновесия грунты рассматриваются в стадии разрушения, без учета их деформации.

Ввиду того, что грунты обладают свойством ползучести, т. е. способностью деформироваться в течение длительного времени под действием постоянных нагрузок, нередки случаи, когда основания и земляные сооружения, из-за деформации ползучести, приходят к полной негодности для дальнейшей их эксплуатации. Причем это может иметь место при сдвигающих нагрузках q , значительно меньших, чем предельные значения сопротивления грунтов сдвигу. Поэтому при определении прочности и устойчивости оснований и земляных сооружений нельзя ограничиваться рассмотрением грунтов только в стадии разрушения (предельного равновесия), необходимо также знать их деформации в динамическом проявлении (во времени) ⁽⁶⁾.

За последнее время выполнен ряд работ по исследованию ползучести грунтов при сдвиге ⁽²⁻⁸⁾. Большинство из этих работ посвящено изучению формы и описанию кривых ползучести и длительной прочности грунтов. Работы С. С. Вялова ⁽³⁻⁵⁾ посвящены изучению закономерностей реологических процессов в мерзлых грунтах при сдвиге вдоль вмороженных в грунт стержней, сдвиге грунтов в сдвижных приборах и их длительной прочности. Для описания процесса развития во времени деформации использованы интегральные уравнения Больцмана—Вольтерра в интерпретации Ю. Н. Работнова ⁽⁹⁾.

Нами ⁽¹⁰⁾ для описания процесса ползучести связных грунтов нарушенной структуры при сдвиге использовано выражение меры ползучести (1) из интегрального уравнения Больцмана—Вольтерра теории упруго-ползучего тела Г. Н. Маслова—Н. Х. Арутюняна (2) ^(11, 12).



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

$$\gamma(t) = \frac{q(t)}{G(t)} - \int_{\tau_1}^{\tau_2} q(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{1}{G(\tau)} + \omega(t, \tau) \right] d\tau, \quad (2)$$

где $\omega(t, \tau)$ — деформация ползучести к моменту времени t от нагрузки q , приложенной в возрасте материала τ ;

$\varphi(\tau)$ — функция, учитывающая изменения механических свойств материала;

$\gamma(t)$ — деформация сдвига к моменту времени t ;

G — модуль сдвига;

γ — параметр;

τ — момент приложения нагрузки.

При этом деформация сдвига разбивается на упруго-мгновенную деформацию и деформацию ползучести:

$$\gamma(t) = \gamma_{\text{упр.}}(t) + \gamma_{\text{полз.}}(t). \quad (3)$$

Исходя из вышесказанного при рассмотрении деформативных свойств грунтов, мы, как и раньше⁽¹³⁾, исходим из указанного выше расчленения деформаций, которое соответствует и физической природе деформирования грунтов.

Настоящая работа по исследованию деформативных свойств связанных грунтов нарушенной структуры с учетом фактора времени выполнена в целях дальнейшего уточнения и обоснования принятых нами зависимостей теории упруго-ползучего тела^(11, 12).

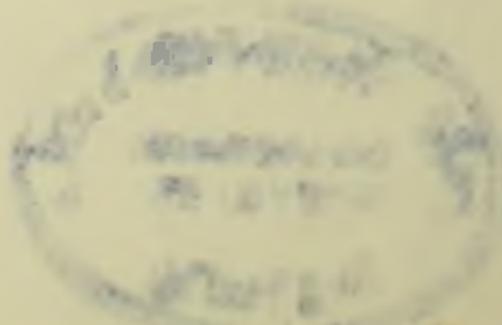
Для исследования деформативных свойств глинистых паст при сдвиге были использованы сдвиговые приборы конструкции Н. Н. Маслова с прямой передачей уплотняющих нагрузок на образец. Исследования велись как по схеме среза на стандартных образцах высотой 35 мм, так и по схеме сдвига⁽¹⁴⁾ на образцах высотой 15 мм при нормальной нагрузке 2 кг/см².

Данные об основных физических свойствах исследованных грунтов перед испытанием образцов сведены в табл. 1.

Во избежание влияния уплотнения и упрочнения образцов грунта на процесс их деформирования при сдвиге мы проводили сравнительно непродолжительные опыты. С той же целью все образцы до испытания подвергались длительному предварительному уплотнению в течение 15—30 дней с таким расчетом, чтобы деформации уплотнения не превышали 1 микрона в сутки.

На фиг. 1 и 2 приведены результаты экспериментального исследования зависимости между мгновенными деформациями и напряжениями грунтов при сдвиге, выполненные по двум указанным выше схемам.

Зависимость между мгновенными деформациями и напряжениями определялась методикой последовательного нагружения образцов оди-



наковыми нагрузками, приложенными ступенями через интервалы времени 10 минут, с фиксацией мгновенных деформаций. Для определения указанной зависимости параллельно испытывалось по 10—12 образцов-близнецов. В целях устранения влияния прибора на результаты опытов все образцы за сутки до испытания подвергались предварительному сдвигу нагрузками $q = 0,25 - 0,1 \text{ кг/см}^2$.

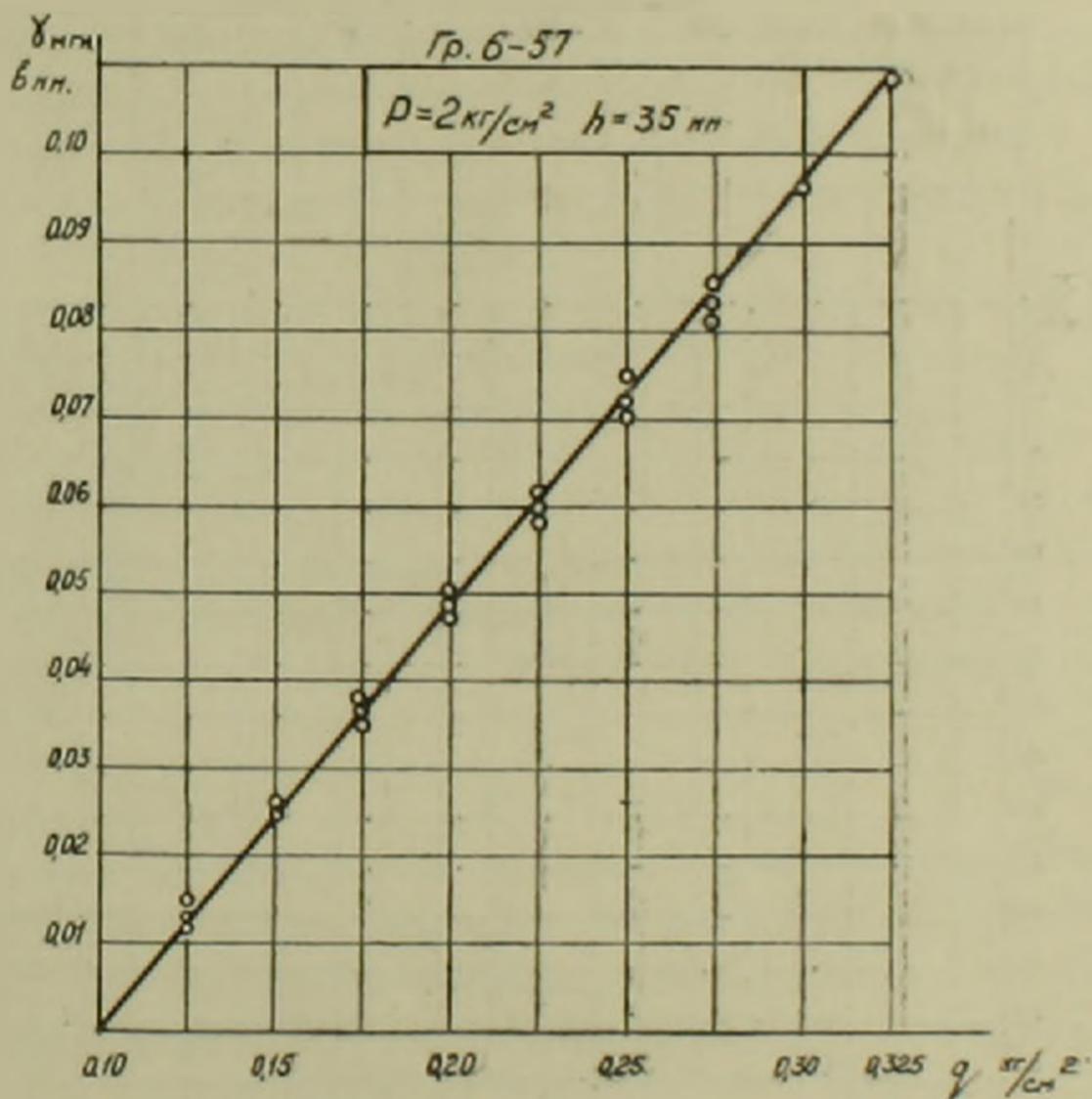
Таблица I

Лаб. № грунтов	Удельный вес в г/см^3	Объемный вес испы- танных об- разцов в г/см^3	Влажность испытан- ных образ- цов в %	Пределы пластичности		
				граница теку- чести	граница пластич- ности	число пластич- ности
2-57	2,66	1,82	28,7	31,30	18,60	12,70
4-57	2,70	1,77	34,7	41,20	23,20	18,00
6-57	2,65	1,62	53,4	59,07	21,20	37,87

На основании многочисленных опытов (около 100) установлено, что, независимо от схемы испытания, связь между мгновенными деформациями и напряжениями в рассматриваемых интервалах напряжения и деформаций (до 2 мм) с достаточной для практики точностью можно считать линейной (фиг. 1, 2).

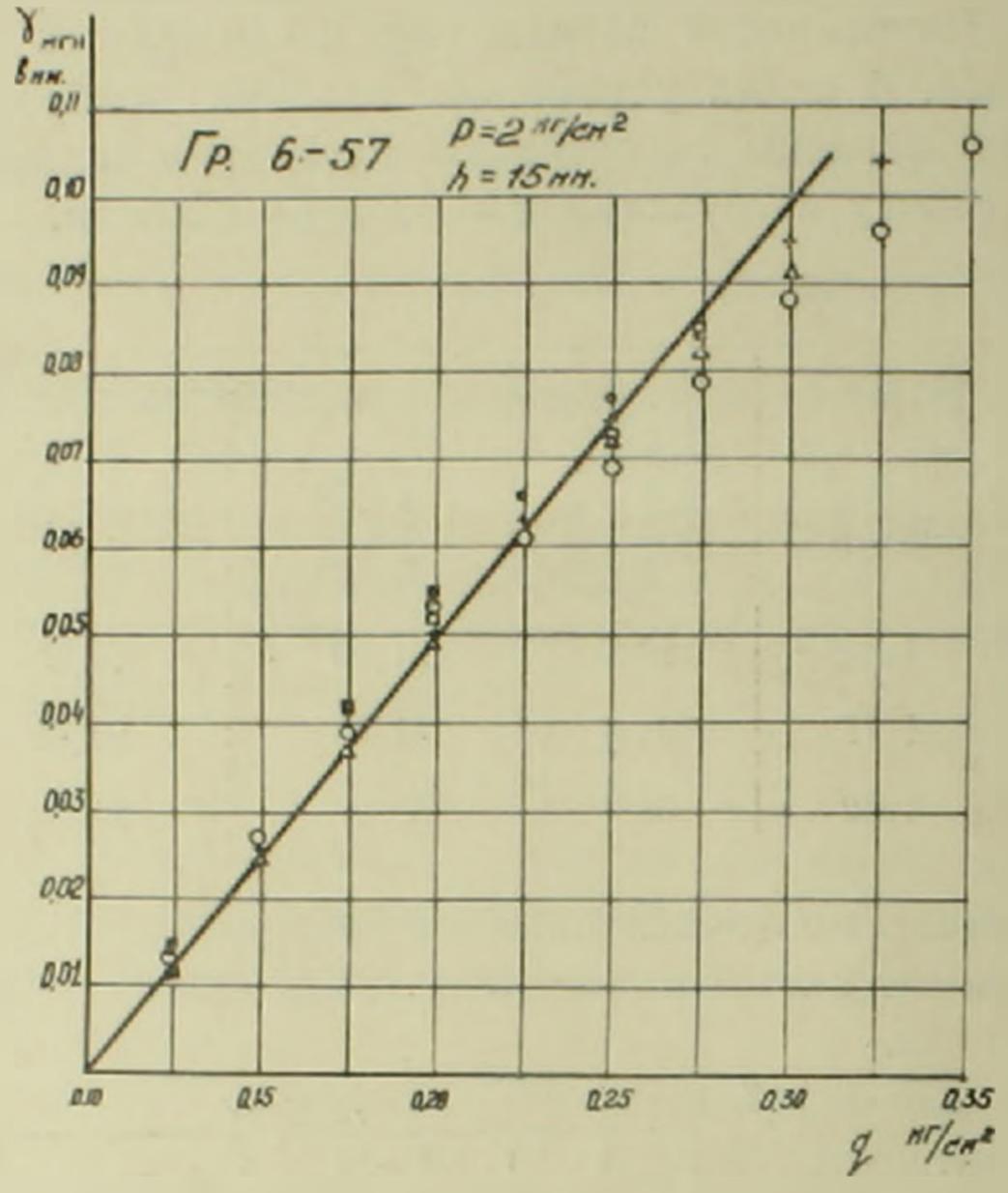
Из графиков фиг. 1 и 2 следует, что одинаковым значениям ступеней нагрузок соответствуют одинаковые значения мгновенных деформаций. Следовательно, за период выполнения опытов физико-механические свойства материала не подвергались существенному изменению, т. е. материал практически не „старел“.

Учитывая то обстоятельство, что во время проведения опытов образцы не подвергались „старению“, во избежание ошибок, которые могли бы иметь место при определении мгновенных деформаций

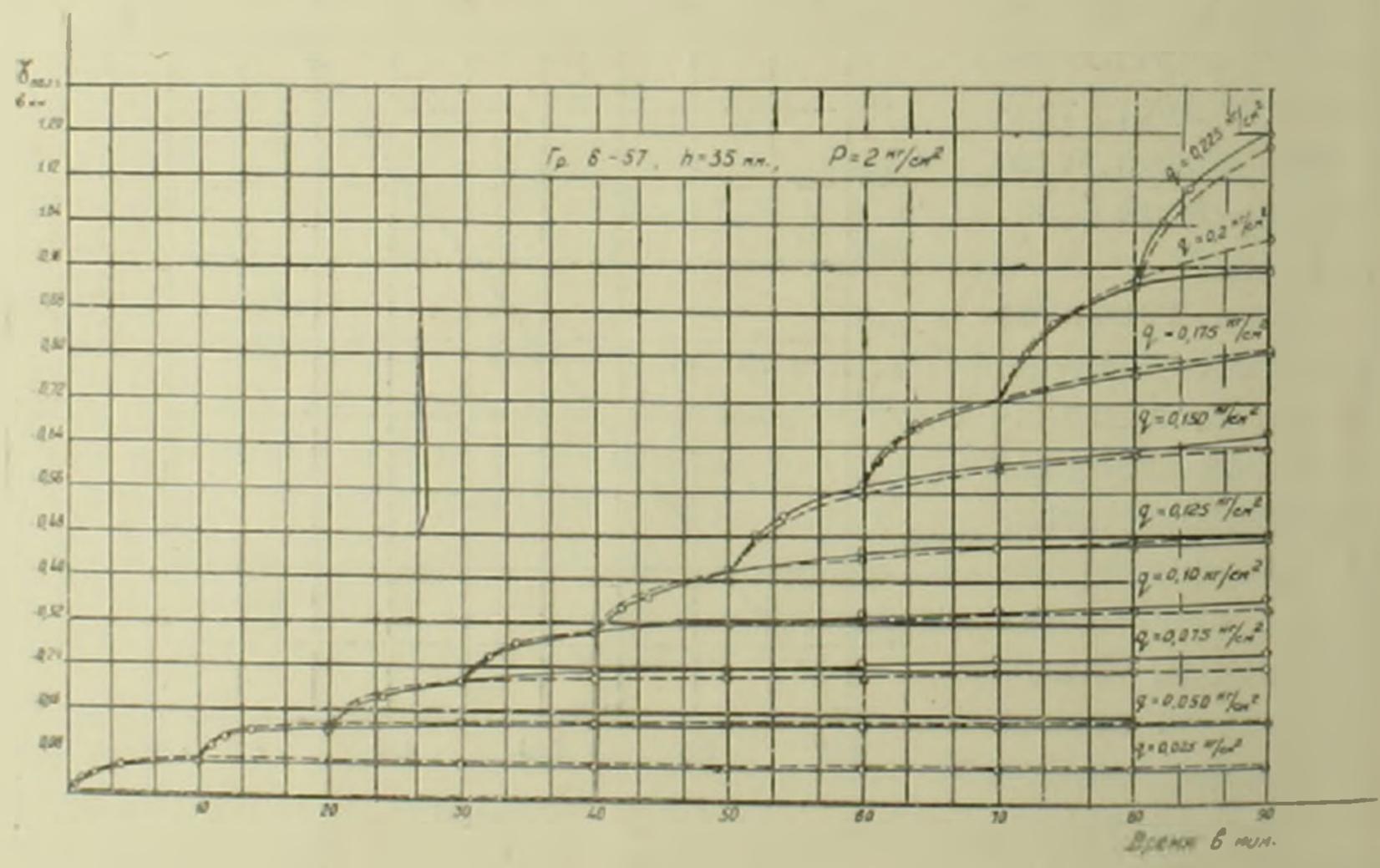


Фиг. 1.

от мгновенно приложенных сдвигающих нагрузок, для определения зависимости между деформациями ползучести и напряжениями мы



Фиг. 2.

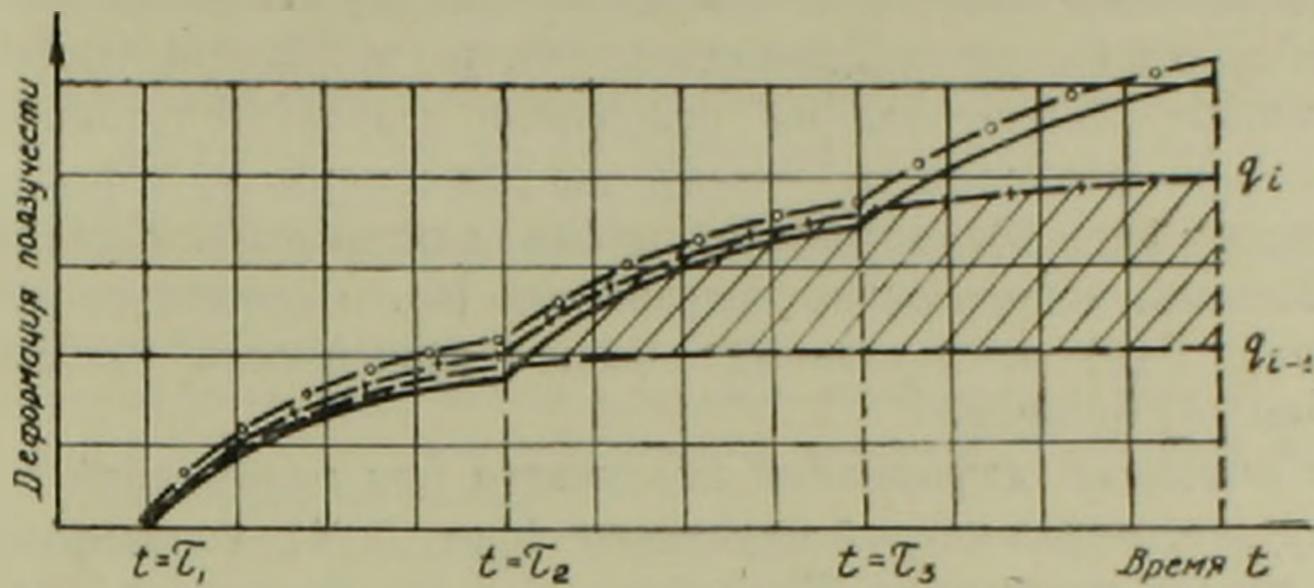


Фиг. 3.

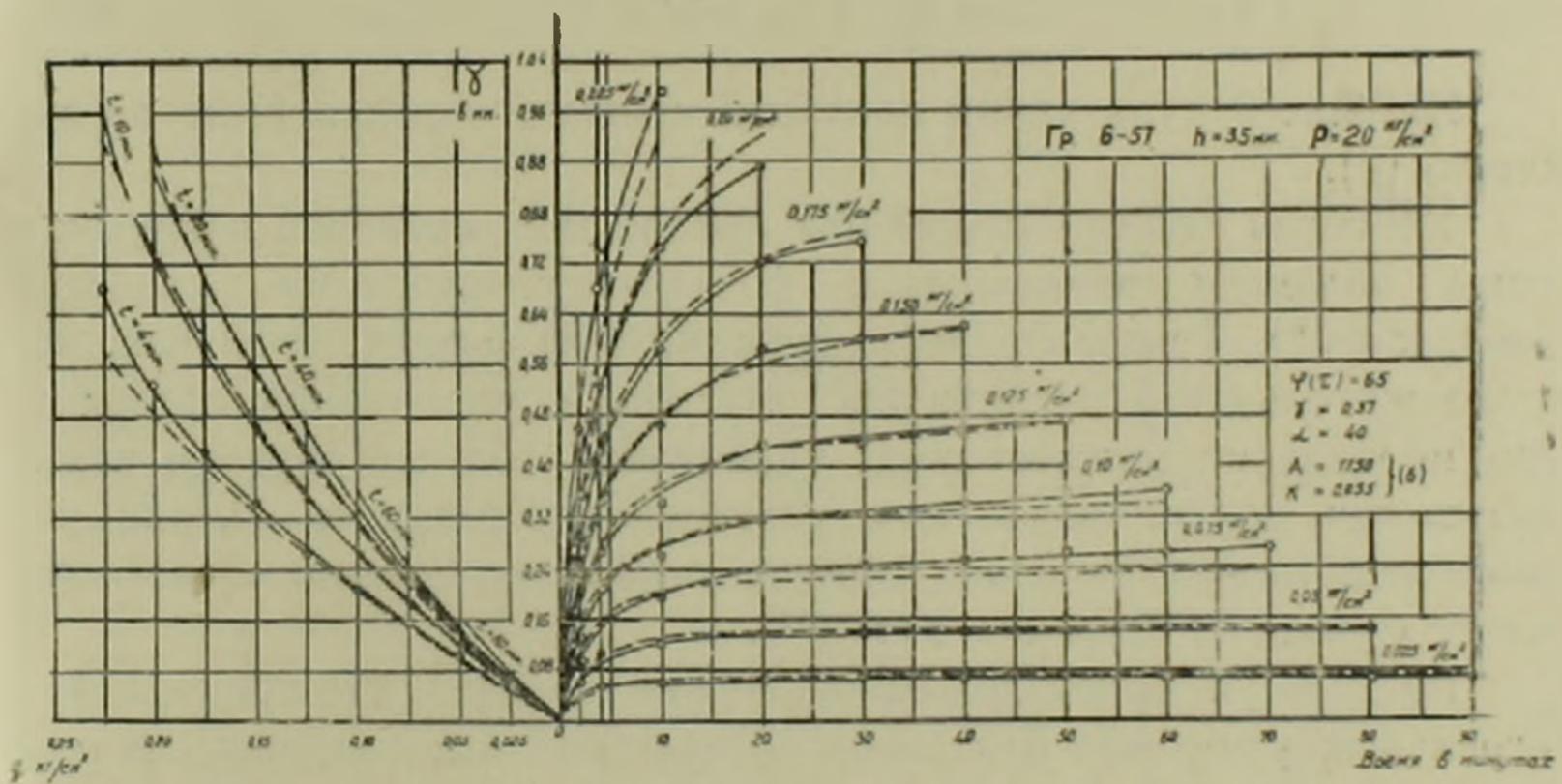
воспользовались не прямым, а обратным методом — методом испытания серии образцов ступенчато приложенными нагрузками (фиг. 3). Схема загрузки показана на фиг. 4.

Для определения ползучести под некоторой нагрузкой q_n сумми-

ривались приращения деформаций $\gamma_n(t) = \sum_{i=1}^n \Delta_i \gamma(t)$ от приращения нагрузок $\Delta_i q$ (фиг. 5). Деформации ползучести, соответствующие приращению ступени нагрузки $\Delta_i q = q_i - q_{i-1}$, определялись как разность ординат между кривыми ползучести от нагрузок q_i и q_{i-1} (на фиг. 4 заштрихована восходящими линиями).



Фиг. 4.



Фиг. 5.

На правой части фиг. 5 приведены кривые ползучести, соответствующие различным значениям нагрузок, определенным указанным выше способом, а на левой—кривые зависимости между напряжениями и деформациями ползучести в зависимости от длительности загрузки.

Из графика фиг. 5 следует, что зависимость между деформациями ползучести и напряжениями выражается нелинейным законом, поэтому для перехода от одних кривых ползучести к другим использована функция напряжения $F(q)$ ⁽¹⁵⁾:

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

где $\omega(t, \tau)$ — мера ползучести при сдвиге (1) ⁽¹²⁾.

Функция напряжения $F(q)$ определялась зависимостью вида

$$F(q) = \alpha \cdot q + \beta(t) q^3, \quad (5)$$

где α — параметр, $\beta(t)$ — некоторая функция, учитывающая длительность загрузки t .

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

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

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

Для описания деформаций ползучести при переменной по величине нагрузке, приложенной ступенями (фиг. 3, 4), использовано выражение закона наложения ⁽¹⁵⁾

$$\gamma_{\text{полз.}}(t) = \sum_{i=1}^n \omega(t, \tau_i) \cdot [F(q_i) - F(q_{i-1})] \quad (7)$$

На фиг. 3 пунктирами показаны кривые, определенные по выражению (7).

Учитывая то, что к моменту приложения ступеней нагрузок образцы обладали одинаковыми физико-механическими свойствами („возрастом“), в выражении (1) функция $\varphi(\tau) = \text{const}$. В случае, когда продолжительность загрузки приводит к упрочнению образцов за счет проявления тиксотропного упрочнения или же образцы испытываются при других значениях уплотняющих нагрузок P , для учета изменчивости механических свойств образцов необходимо воспользоваться функцией старения $\varphi(\tau)$ ⁽¹²⁾.

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить, что применение интегральных уравнений Больцмана—Вольтерра, в интерпретации теории упруго-ползучего тела Г. Н. Маслова—Н. Х. Арутюняна, для описания процесса деформирования связных грунтов нарушенной структуры при сдвиге дают вполне удовлетворительные результаты. Применение указанной теории дает то явное преимущество, что можно учесть и изменение деформативных свойств материала как по причине тиксотропного упрочнения, так и уплотнения в процессе деформирования с помощью функции „старения“ $\varphi(\tau)$ ⁽¹²⁾. Конечно, надо иметь в виду то, что указанную теорию можно применить при значениях нагрузок, когда кривые ползучести еще имеют затухающий характер, когда $q < q_{\text{лит.}}$.

Институт математики и механики
Академии наук Армянской ССР

**Կասկածելի գրուումների դեֆորմացիոն հատկությունների
ուսումնասիրությունը սահի դեպքում**

Հայնտի է ⁽¹⁾, որ հիմնատակերի և հողային կառուցվածքների ամրության կայունության խնդիրները սահմանային համասարակչողության տեսությամբ լուծելիս գրունտը դիտարկվում է քայքայման սուադիայում, առանց նրա դեֆորմացիայի հաշվառման: Սակայն փորձը ցույց է տալիս որ քիչ չեն դեպքերը, երբ հիմնատակերը և հողային կառուցվածքները սողքային երևույթների պատճառով դառնում են շահագործման համար անսլետր դեռևս այնպիսի լարումների դեպքում, որոնք բավականին փոքր են, քան գրունտի սահի սահմանային դիմադրությունը: Այդ իսկ պատճառով շահագանց կարևոր նշանակություն ունի գրունտի դեֆորմացիոն հատկությունների ուսումնասիրությունը սահի դեպքում:

Սահիտված ստրուկտուրա ունեցող կապակցված գրունտների դեֆորմացիոն հատկությունների ուսումնասիրությունները կատարելու համար օգտագործված են սլոֆ. Ն. Ն. Մասլովի սահքային գործիքները, իսկ տեսական բազա է հանդիսացել Գ. Ն. Մասլովի—Ն. Ս. Հարությունյանի սողի տեսությունը: Ռեսուլտատները կատարվել են 35 և 15 մմ բարձրություն ունեցող երեք տարբեր գրունտների նմուշների վրա, 2 կգ/սմ² հաստատուն նորմալ լարման համար:

Պարզված է, որ ակնթարթային դեֆորմացիաների և լարումների կապը նմուշի միջև 2 մմ դեֆորմացիայի ժամանակ բավականին ճշտությամբ արտահայտվում է զծային առնչությամբ, իսկ լարումների և դեֆորմացիաների կապը զծային չէ: Առյց է տրված, որ գրունտների սահի դեֆորմացիայի պրոցեսը ժամանակի ընթացքում բավականին ճշտությամբ կարելի է գրանցել Գ. Ն. Մասլովի—Ն. Ս. Հարությունյանի սողի տեսության առնչություններով:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ В. В. Соколовский, Статика сыпучей среды, Гостехиздат, М., 1951. ² М. Н. Гольдштейн, Материалы к IV между. конгрессу по мех. грунтов и фунда. Изд. АН СССР, М., 1957. ³ С. С. Вялов, ДАН СССР, т. 104, № 6, 1955. ⁴ С. С. Вялов, ДАН СССР, т. 108, № 6, 1956. ⁵ С. С. Вялов, Материалы к IV между. конгрессу по мех. грунтов и фунда. Изд. АН СССР, М., 1957. ⁶ Н. Н. Маслов, Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве, Госэнергоиздат, М.—Л., 1955. ⁷ С. Н. Максимов, Гидротехн. стр-во, № 4, 1954. ⁸ E. C. W. A. Geuze, Discussion Proc. third Intern. Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. III, 1953, 119—121. ⁹ Ю. Н. Работнов, «Изв. АН СССР», ОТН, № 6, 1940. ¹⁰ С. Р. Месчян, ДАН АрмССР, т. XXI, № 2, 1955. ¹¹ Г. Н. Маслов, «Изв. ВНИИГ», т. 28, 1940. ¹² Н. Х. Арутюнян, Некоторые вопросы теории ползучести, Изд. технико-теоретич. лит., М.—Л., 1952. ¹³ С. Р. Месчян, «Изв. АН АрмССР», т. II, № 4, 1958. ¹⁴ Э. В. Костерин, Гидротехн. стр-во, № 7, 1957. ¹⁵ П. Н. Васильев, «Изв. ВНИИГ», т. 45, 1951.