

С. Р. МЕСЧЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ МГНОВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИ СДВИГЕ

Деформация материала, обладающего свойством ползучести, как известно, разбивается на мгновенную деформацию и на деформацию ползучести. Поэтому, при исследовании закономерностей деформирования грунтов, указанные деформации также рассматриваются отдельно, хотя они между собой тесно связаны и представляют этапы одного общего процесса.

Изучение закономерностей мгновенных деформаций при сдвиге, как и при сжатии [1], имеет важное значение для определения зависимости напряжение—мгновенная деформация, модуля мгновенной деформации $G_{\text{мгн}}$, его изменяемости вследствие уплотнения грунта под воздействием уплотняющих нагрузок, а также для выделения ползучести из полных деформаций.

В теории упруго-ползучего тела Г. Н. Маслова—Н. Х. Арутюняна [2, 3] в числе других предпосылок принято также, что зависимость *напряжение—мгновенная деформация является линейной*, а модуль мгновенной деформации $G_{\text{мгн}}$ является переменной величиной, зависящей от состояния (плотности—влажности, структурной прочности) грунта в момент его испытания. С целью обоснования применимости указанной теории к глинистым грунтам выполнена настоящая работа по изучению закономерностей их мгновенных деформаций при сдвиге.

При изучении закономерностей мгновенных деформаций сдвига, в частности, зависимости касательное напряжение (q)—мгновенная деформация ($\gamma_{\text{мгн}}$) и изменяемости модуля мгновенной деформации $G_{\text{мгн}}$ вследствие изменения состояния грунта мы исходили из тех основных положений, которые достаточно подробно были изложены в наших работах [1, 4]. Поэтому, чтобы не повторяться, мы здесь не будем останавливаться на рассмотренных в указанных работах общих вопросах. Что же касается методики исследования и связанных со спецификой испытания грунтов на сдвиг вопросов, то они будут рассмотрены по ходу изложения результатов экспериментальных исследований.

Изучение закономерностей мгновенных деформаций сдвига проводилось на приборах одноплоскостного среза и кольцевого сдвига [17]

Опыты, проведенные на приборах одноплоскостного среза, носили методический характер и преследовали цель выяснить качественную сторону вопроса.

Опыты проводились на образцах нарушенной структуры, изготовленных из грунтовой пасты, обладающей влажностью, равной пределу текучести. В приборах одноплоскостного среза подвергались испытанию образцы высотой $h = 15$ и 35 мм, а в приборах кольцевого сдвига $h = 24$ мм. При испытании образца высотой $h = 15$ мм в приборах одноплоскостного среза обеспечивалось более равномерное распределение касательных напряжений (Э. В. Костерин, 1957). Испытание в кольцевых приборах образцов высотой 24 мм сильно упрощало измерение деформации сдвига. В этом случае перекашивание происходило по всей высоте образца, а базой измерения деформации являлась его высота в момент приложения касательного напряжения.

Испытание образцов в приборах обеих конструкций проводилось в условиях сложного напряженного состояния при действии как нормальных, так и касательных напряжений. Порядок приложения нагрузок был различным. В одном случае касательные напряжения прикладывались к образцу после завершения его уплотнения от действия нормального напряжения, а в другом—при незавершенном его уплотнении.

Ниже приводятся результаты изучения зависимости касательное напряжение q —мгновенная деформация сдвига $\gamma_{\text{мгн}}$ и влияния состояния грунта на указанную зависимость.

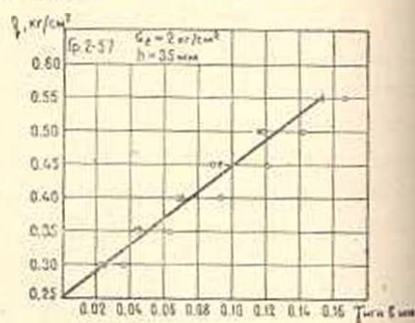
§ 1. *Изучение зависимости касательное напряжение q —мгновенная деформация сдвига $\gamma_{\text{мгн}}$.* В отличие от методики определения зависимости напряжение—мгновенная деформация сжатия, изложенной в работах [1, 4], мгновенная деформация сдвига определялась последовательным приложением к образцу ступеней касательных напряжений равной величины через определенные (равные и неравные) интервалы времени. Мгновенные деформации фиксировались в момент приложения ступеней нагрузок. Величина мгновенной деформации, соответствующая какому-либо фиксированному значению касательного напряжения, определялась как сумма мгновенных деформаций от всех приложенных ступеней нагрузок.

Для определения рассматриваемой здесь зависимости одновременно испытывались по 10—12 образцов-близнецов при величине ступеней нагрузок $q = 0.025$ — 0.1 кг/см². В ряде случаев применялись также ступени нагрузки больше 0.1 кг/см². Во избежание ошибок, которые обычно проявляются в начале эксперимента по тем или иным причинам, начальные участки кривых $q - \gamma_{\text{мгн}}$ (в пределах $q = 0.1$ — 0.25 кг/см²) исключались из рассмотрения. В ряде случаев, с той же целью, испытывались образцы, подвергнутые предварительному сдвигу напряжениями указанного выше порядка.

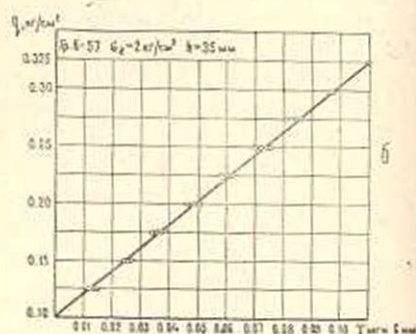
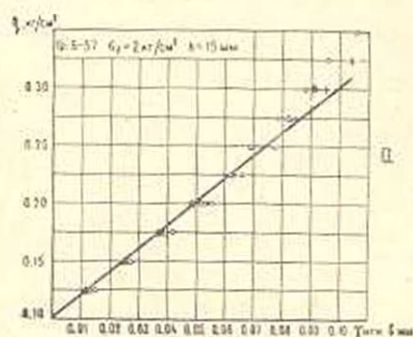
На основании многочисленных опытов (больше 200) установлено,

что связь между касательными напряжениями и мгновенными деформациями сдвига для какого-либо фиксированного состояния грунта в пределах рассмотренных (сравнительно небольших) напряжений и деформаций выражается линейным законом.

На графиках фиг. 1 и 2 приведено несколько кривых зависимости $q - \gamma_{\text{мгн}}$, полученных испытанием образцов суглинка и часов-ярской глины (табл. 1) на приборах одноплоскостного среза, при приложении ступеней касательных напряжений с интервалом 10 мин. Перед испытанием образцы-близнецы были подвергнуты предварительному уплотнению нормальным к плоскости среза напряжением $\sigma_z = 2 \text{ кг/см}^2$ в течение 15—30 дней. За это время уплотнение грунта от действия σ_z практически заканчивалось.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Таблица 1

Лаборат. № грунта	Удельный вес г/см ³	Пределы пластичности		
		Предел текучести	Предел пла- стичности	Число пла- стичности
2—57	2,66	31,30	18,60	12,70
6—57	2,65	59,07	21,20	37,87
4—57	2,70	41,20	23,20	18,00
9—63	2,68	42,40	24,40	18,00

Из приведенных графиков следует, что равным ступеням напряжений соответствуют равные величины мгновенных деформаций. Следовательно, за период выполнения опытов физико-механические свойства образцов не подвергались изменениям. Из графика фиг. 2 вытекает также другой важный вывод, согласно которому величина мгновенной деформации сдвига, а это значит, что и модуль мгновен-

ной деформации $G_{\text{мгн}}$, не зависит от высоты испытанных образцов. Из этого следует, что зоны сдвига образцов $h = 15$ и 35 мм, испытанных в приборах одноплоскостного среза, имеют одинаковую величину.

Выполненные по изложенной выше методике на приборах кольцевого сдвига испытания образцов глины 4–57 (табл. 1) показали, что при больших напряжениях (вплоть, до величины предельного сопротивления сдвигу) и деформациях зависимость $q - \gamma_{\text{мгн}}$ нелинейна, но ее можно аппроксимировать ломаной линией, прямолинейные участки которой имеют разные углы наклона к оси абсцисс (деформаций).

Как и в случае сжатия [5], эти опыты свидетельствуют (фиг. 3) о наличии двух областей деформирования с двумя разными мгновенными модулями сдвига G_1 и G_2 . Напряжение, соответствующее точке

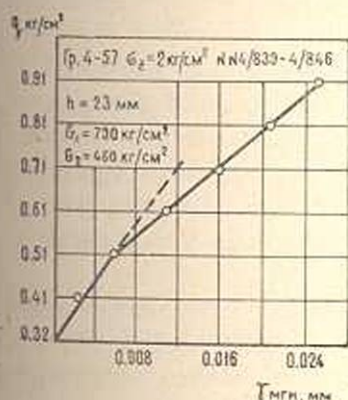
пересечения указанных прямых, является *пределом структурной прочности грунта*. Переход мгновенных деформаций из одной области деформирования в другую обусловлен разрушением начальной структуры грунта и его переходом в новое состояние.

Примечательным является то обстоятельство, что во второй области деформирования зависимость $q - \gamma_{\text{мгн}}$ остается линейной вплоть до момента разрушения грунта.

Указанное изменение модулей

мгновенных деформаций сдвига и перелом кривой $q - \gamma_{\text{мгн}}$ вызваны постепенным, медленным ростом касательных напряжений (длительность загрузки до величины предельного сопротивления сдвигу равнялась около 5 часов). Если, как в случае сжатия, опыты проводились бы по методике параллельного испытания образцов-близнецов напряжениями различной величины, с практически мгновенным их приложением, возможность разрушения структуры грунта была бы исключена, а зависимость $q - \gamma_{\text{мгн}}$ выражалась бы одной прямой. Поэтому модуль мгновенной деформации $G_{\text{мгн}}$, соответствующий состоянию грунта в момент его испытания, должен определяться по отрезку кривой $q - \gamma_{\text{мгн}}$ первой области деформирования (для гр. 4–57 при $\sigma_z = 2 \text{ кг/см}^2$, $G_1 = 730 \text{ кг/см}^2$, фиг. 3).

Сопоставление мгновенного модуля сдвига $G_1 = 730 \text{ кг/см}^2$ (фиг. 3) с модулем сдвига $G_{\text{мгн}} = 710 \text{ кг/см}^2$ того же грунта, определенного от компрессионного модуля мгновенной деформации $E_k = 2500 \text{ кг/см}^2$ при $\mu = 0.3$, показывает их хорошее совпадение. Это значит, что, зная мгновенный компрессионный модуль сжатия и коэффициент Пуассона μ , можно определить как E , так и мгновенный модуль сдвига $G_{\text{мгн}}$. Точно также, зная $G_{\text{мгн}}$ и μ , можно определить как E , так и E_k .



Фиг. 3.

§ 2. Влияние состояния грунта на зависимость $q - \gamma_{\text{мгн}}$ и на изменяемость модуля мгновенной деформации сдвига $G_{\text{мгн}}$. При испытании грунта в условиях сложного напряженного состояния, когда на образец одновременно действуют касательные и нормальные напряжения, нарастание последнего приводит к уплотнению грунта и изменению его физико-механических свойств—к изменению его состояния. Вместе с изменением состояния грунта изменяются также его деформативные свойства, в частности, мгновенные деформации сжатия $\epsilon_{\text{мгн}}$ и сдвига $\gamma_{\text{мгн}}$.

Как и в случае сжатия, изучение изменяемости мгновенной деформации сдвига в зависимости от состояния (плотности-влажности, структурной прочности и т. д.) грунта в моменты приложения ступеней касательных напряжений, сводится к определению зависимости напряжение—мгновенная деформация сдвига в различных его состояниях. Поскольку плотность—влажность и структурная прочность (состояние) грунта определяются величиной нормального напряжения и продолжительностью его действия, учет влияния состояния грунта на мгновенные деформации сдвига можно будет выразить через величину σ_z . А это значит, что для указанной цели надо испытать несколько серий образцов-близнецов, предварительно уплотненных под различными нормальными напряжениями.

Влияние состояния грунта на мгновенные деформации сдвига можно учесть также испытанием одного образца последовательным приложением ступеней касательного и нормального напряжения.

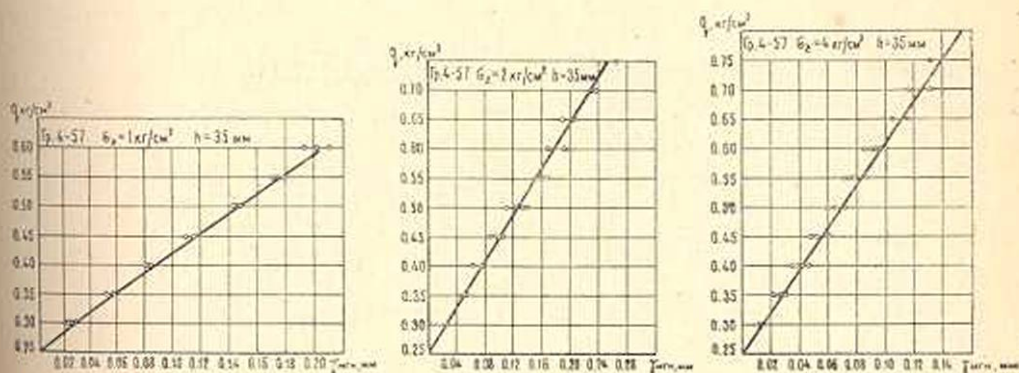
Познакомимся для примера с результатами [6] определения (на приборах одноплоскостного среза) зависимости $q - \gamma_{\text{мгн}}$ в трех различных состояниях глины 4—57. Указанные состояния грунта были достигнуты предварительным месячным уплотнением трех серий образцов-близнецов под нормальными напряжениями $\sigma_z = 1.2$ и 4 кг/см^2 . Как и ранее, образцы готовились из пасты, обладающей влажностью, равной пределу текучести грунта.

В рассматриваемом случае, зависимости между касательными напряжениями q и мгновенными деформациями сдвига $\gamma_{\text{мгн}}$ (фиг. 4), в каждом состоянии грунта, определялись испытанием образцов-близнецов при ступенчатом нарастании ступеней нагрузок ($q = 0.05 \text{ кг/см}^2$) с интервалом 10 минут. Мгновенные деформации фиксировались в моменты приложения ступеней нагрузок. Причем, для устранения влияния прибора на результаты опытов, которое проявляется при первых ступенях нагрузок, деформации мгновенных деформаций, соответствующие $q = 0.25 \text{ кг/см}^2$, исключались из рассмотрения.

Опыты показывают, что, как и в предыдущем случае, зависимость $q - \gamma_{\text{мгн}}$ при деформациях сдвига $\gamma < 2 \text{ м.м.}$, независимо от состояния грунта в начале испытания, выражается линейным законом. Причем, из графиков, приведенных на фиг. 4, ясно видно влияние состояния, то есть σ_z , на величины мгновенных деформаций.

При испытании образцов грунта в приборах одноплоскостного

среза Н. Н. Маслова—Ю. Ю. Лурье, нельзя достаточно точно определить влияние нормального напряжения на мгновенный модуль сдвига $G_{\text{мгн}}$, поскольку мы не знаем величины зоны сдвига испытанных образцов. Однако, если даже приближенно принять, что величина зоны сдвига (независимо от состояния грунта) равна одной трети высоты [7], то есть $\approx 10 \text{ мм}$, то можно будет получить некоторое представление об



Фиг. 4.

изменяемости $G_{\text{мгн}}$ в зависимости от величины σ_z (табл. 2).

Хотя приведенные в табл. 2 величины $G_{\text{мгн}}$ далеки от их истинных значений, однако они довольно точно отражают качественную сторону явления и подтверждают тот общезвестный факт, что уплотнение грунта приводит к уменьшению его деформаций сжатия и сдвига.

Теперь познакомимся с результатами аналогичных опытов, выполненных на приборах кольцевого сдвига (фиг. 5).

Проведены три серии опытов на переуплотненных образцах нарушенной структуры глины 9-63 (табл. 1). Серии образцов-близнецов в начале были уплотнены напряжениями $\sigma_z = 2,3$ и 5 кг/см^2 , а затем разгружены до $\sigma_z = 1,2$ и 4 кг/см^2 соответственно и испытаны на сдвиг под этими же напряжениями. Длительность предварительного уплотнения 14-45 дней.

Касательные напряжения наращивались ступенями по $q = 0,05 - 0,1 \text{ кг/см}^2$ через различные интервалы времени. Последующая ступень касательного напряжения прикладывалась к образцу после условной стабилизации деформации сдвига (под условной стабилизацией деформации сдвига понимается скорость сдвига $0,01 \text{ мм}$ за 2 минуты). Общая продолжительность загрузки, вплоть до разрушения образца, равнялась 4-5 часам. Деформации измерялись двухмикронными индикаторами часового типа, а для определения относительной дефор-

Таблица 2

Величина нормального напряжения $\sigma_z \text{ кг/см}^2$	1.0	2.0	4.0
Мгновенный модуль сдвига $G_{\text{мгн}} \text{ кг/см}^2$	17.5	19.4	35.0

мации сдвига после опыта измерялись высоты образцов. Поскольку деформации сдвига измерялись по наружной окружности образца r_2 , напряжения сдвига определялись по зависимости (1) [8], при $\rho = r_2$:

$$q_p = \frac{2M_{kp}}{\pi(r_2^4 - r_1^4)} \rho, \quad (1)$$

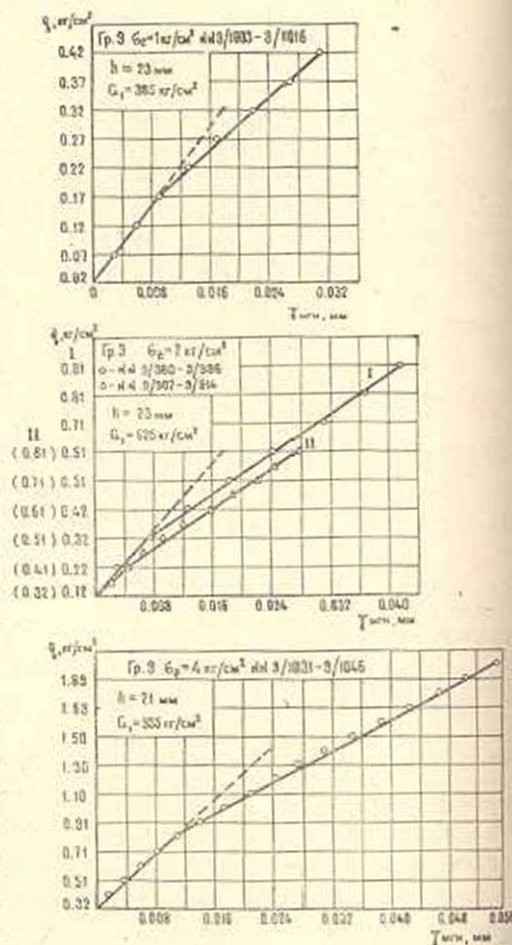
где M_{kp} , r_2 и r_1 — крутящий момент, наружный и внутренний радиусы образца.

При больших интервалах изменения касательных напряжений, кривые $q - \gamma_{\text{мгн}}$ аппроксимировались двумя прямыми.

При этом опыты показывают, что чем больше σ_z , то есть плотность и структурная прочность грунта в момент испытания, тем выше предел его структурной прочности. Величина указанного предела связана также со скоростью нарастания и величиной ступени касательного напряжения. С увеличением скорости приложения или уменьшением интервала между ступенями напряжений предел структурной прочности сдвига возрастает.

Сопоставление модулей мгновенных деформаций сдвига первых областей деформирования указанных трех состояний образцов грунта 9—63 показывает (табл. 3), что как и в случае сжатия, исключительно велико влияние состояния (плотности, влажности, структурной прочности и т. д.), то есть нормального напряжения σ_z и длительности его действия, на деформации сдвига грунта. Оно говорит о том, что при изучении закономерностей как мгновенных деформаций, так и деформации ползучести сдвига нельзя с этим фактором не считаться [6].

Наряду с тем, что приведенные в табл. 2 и 3 результаты опытов показывают один и тот же характер изменяемости мгновенного модуля сдвига $G_{\text{мгн}}$ с увеличением σ_z , они свидетельствуют также об исключительно большом различии между результатами, полученными



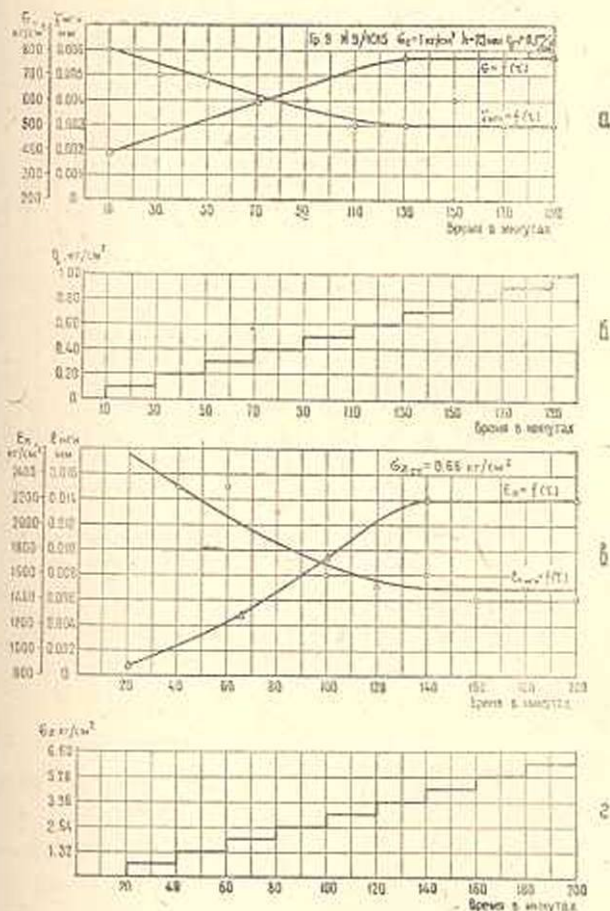
Фиг. 5.

испытанием образцов в приборах одноплоскостного среза и кольцевого сдвига. Это явление можно объяснить только влиянием конструкции прибора одноплоскостного среза, которое в основном обусловлено обжатием образца в его обойме [9,10]. Следовательно, предлагаемая Э. В. Костериным [11] методика испытания грунтов на сдвиг не исключает влияния способа приложения касательных напряжений на результаты опытов.

Для изучения характера изменчивости $\gamma_{\text{мгн}}$ и $G_{\text{мгн}}$ в зависимости от состояния грунта в моменты приложения касательных напряжений можно воспользоваться также испытанием одного образца

Таблица 3

Величина нормального напряжения σ_z , кг/см ²	1.0	2.0	4.0
Мгновенный модуль сдвига G_z , кг/см ²	385	625	935

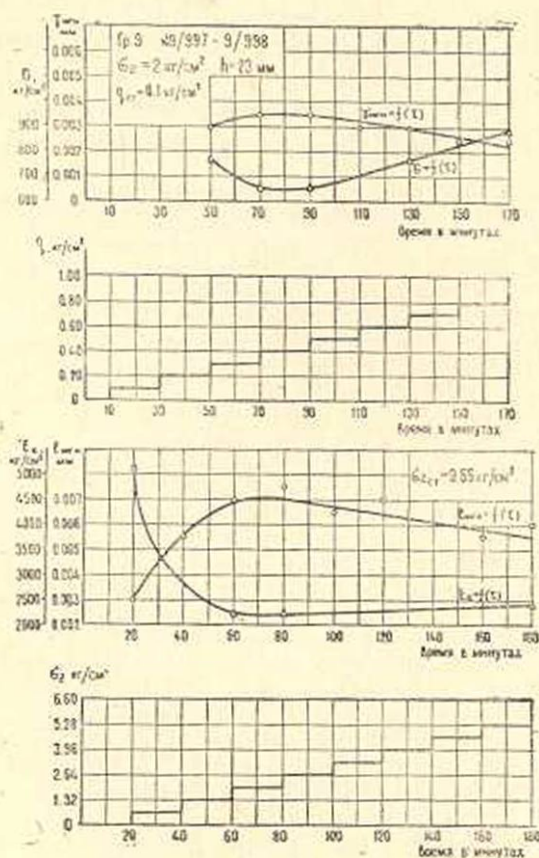


Фиг. 6.

при условии последовательного приложения ступеней касательных $\Delta\tau$ и нормальных $\Delta\sigma_z$ напряжений через определенные интервалы времени.

На графиках фиг. 6а и 7а приведены два примера изучения изменчивости $\gamma_{\text{мгн}}$ и $G_{\text{мгн}}$ в зависимости от состояния грунта в моменты

приложения ступеней касательных напряжений Δq (фиг. 6б и 7б). Здесь, как и в прежних исследованиях, изменяемость состояния грунта во времени обуславливается изменяемостью плотности-влажности, вследствие нарастания во времени нормального (уплотняющего) напряжения σ_z (фиг. 6г и 7г). На графиках (в) этих же фигур, для сопоставления, приведены кривые $l_{\text{мгн}} = f(\tau)$ и $E_k = f(\tau)$. E_k определялись по фиксированным в моменты приложения ступеней $\Delta\sigma_z = 0.66 \text{ кг/см}^2$ величинам $l_{\text{мгн}}$.

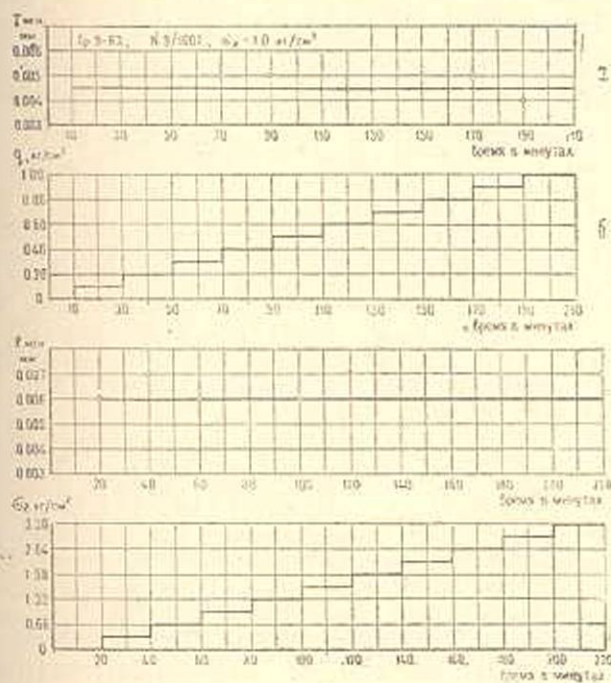


Фиг. 7.

Результаты опытов, приведенные на фиг. 6 и 7, показывают, что характер изменяемости $E_k(\tau)$ и $G_{\text{мгн}}(\tau)$ одинаков и что он зависит как от величины ступени $\Delta\sigma_z$, так и от длительности его действия. Действительно, при одинаковых условиях проведения эксперимента, характер изменяемости мгновенных деформаций и их модулей образцов, подвергнутых предварительному уплотнению напряжениями $\sigma_z = 1$ и 2 кг/см^2 , различен.

В случае испытания менее плотных образцов увеличение σ_z приводит к постепенному уплотнению и упрочнению грунта, уменьшению мгновенных деформаций и увеличению их модулей. Когда плотность

образца высокая, а структурные связи между частицами достаточно крепкие, вначале, с увеличением σ_z наблюдается увеличение мгновенных деформаций, вследствие постепенного разрушения существующих в грунте структурных связей. После возможного разрушения структурных связей в грунте (частичное или полное установление сцепления упрочнения [12]) изменяемость $\gamma_{\text{мгн}}$, $I_{\text{мгн}}$, $G_{\text{мгн}}$ и E_k протекает точно так, как в предыдущем случае.



Фиг. 8.

Ясно, что характер изменяемости $I_{\text{мгн}}$, $\gamma_{\text{мгн}}$, E_k и $G_{\text{мгн}}$ зависит также от скорости приложения и величин ступеней нормальных напряжений, вернее от их соотношений. Как показывают эксперименты, при малых $\Delta\sigma_z/\Delta q$ и больших интервалах их приложения σ_z могут и не повлиять на величины $\gamma_{\text{мгн}}$ и G (фиг. 8).

Изложенная методика изучения изменяемости $I_{\text{мгн}}$ и $\gamma_{\text{мгн}}$, основанная на испытании одного образца последовательным приложением ступеней касательных и нормальных напряжений, может быть использована также для определения G , E и μ (коэффициента Пуассона). Для этого надо кольцевые образцы испытать на кручение и сжатие при возможности бокового расширения грунта, то есть без наружных и внутренних колец, воспринимающих боковой распор и препятствующих его боковому расширению [17].

Полученные нами на приборах кольцевого сдвига данные о величине и изменяемости модуля мгновенной деформации сдвига пол-

ностью согласуются с результатами, полученными нами испытанием образцов на сжатие в компрессионных приборах [1, 4].

Для сопоставления, в табл. 4 приведены величины $G_{\text{мгн}}$, полученные различными исследователями [13].

Таблица 4

Исследователи	Метод испытания	Характеристика грунта	Влажность, %	σ_z , кг/см ²	$G_{\text{мгн}}$, кг/см
Б. Ф. Рельтов	Метод колебаний крутильного маятника	Паста кембрийской глины	50—60	0—1,0	20—60
Б. П. Ерыхов	Метод затухающих крутильных колебаний цилиндрического монолита	Глины и суглинки	17—32	—	3—187
Лаборатория динамики грунтов НИИОСП	То же	То же	6—27	—	2250—10.000
Г. М. Ломизе, А. М. Гуткин, Н. В. Жуков	Скашивание грунтовой призмы при относительном сдвиге не более $5 \cdot 10^{-5}$	1. Глины не нарушенной структуры 2. Пасты глины неокома	6—15 45,0—56,5	0,5—5,0 3,4	1280—1800 1000—1900
Автор	Кручение кольцевых образцов	1. Паста глины 4—57 2. Паста глины 9—63	35,1 35,8 32,6 30,3	2,0 1,0 2,0 4,0	730 385 625 935

Как видно из табл. 4, наши данные довольно близки к данным Г. М. Ломизе, А. М. Гуткина и Н. В. Жукова [13], полученным испытанием образцов нарушенной структуры почти при одинаковых σ_z и влажности грунтам w . Данные Б. Ф. Рельтова [14] согласуются с нашими, полученными при сжатии в компрессионных приборах образцов слабоуплотненных ($\sigma_n = 0,25$ кг/см²) глинистых паст. Что же касается данных Б. П. Ерыхова [15], то они явно заниженные.

Институт математики и механики
АН Армянской ССР

Поступила 29 V 1964

Ս. Բ. ՄԵՇԿՅԱՆ

ԱՎԵՐԻՐԹԱՅԻՆ ՉԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՕՐԻՆԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍԱՀՔԻ ԴԵՊԶՈՒՄ

Ա. մ փ ո փ ո լ մ

Հոդվածում բերված են խախտված կազմվածք ունեցող կավային բնահողերի ակնթարթային ձեւափոխութիւնների օրինաչափութիւնների ուսում-

նախորդյան արդյունքները սահմանափակվում, որոնք ստացվել են կտրման մեկ հարթության ունեցող և օղակալին սարքերում նրանց նմուշների փորձարկման ճեղքանքով:

Յուրյ է արված, որ փոքր լարումների դեպքում ակնթարթալին ձևափոխությունների և լարումների միջև եղած կապը արտահայտվում է գծալին օրենքով, իսկ ընդհանուր առմամբ գծալին չէ:

Ուսումնասիրված է ընհանրի դրույթյան (խտույթյան, խոնավության) ազդեցությունը ակնթարթալին ձևափոխությունների օրինաչափությունների վրա: Պարզված է, որ ընհանրի խտույթյան աճի հետ մեկտեղ, որը պայմանավորված է խտացող σ_z ընդունվածքի մեծությամբ և ազդման տեղությունամբ, աճում է սահման ակնթարթալին մոդուլը $G: \sigma_z = \mu \cdot 1 - \mu \cdot 4 \text{ կգ/սմ}^2$ փոփոխման դեպքում, G -ն փոփոխվում է 385-ից մինչև 935 կգ/սմ², ալսինքն ալեկի քան 2,5 անգամ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Месчян С. Р. О ползучести связного грунта при сжатии. Известия АН Арм. ССР, серия физ.-мат наук, 11, № 4, 1958.
2. Маслов Г. Н. Термическое напряженное состояние бетонных массивов при учете ползучести бетона. Известия ВНИИГ, 28, 1940.
3. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехтеориздат, М., 1952.
4. Месчян С. Р. К вопросу экспериментального определения упругих характеристик связных грунтов при сжатии. ДАН Арм. ССР, 23, № 3, 1956.
5. Месчян С. Р. Экспериментальное изучение закономерностей ползучести глинистых грунтов. Известия АН Арм. ССР, серия физ.-мат наук, 16, № 1, 1963.
6. Месчян С. Р. Влияние уплотняющей нагрузки на деформативные свойства глинистых грунтов при сдвиге. ДАН Арм. ССР, 31, № 4, 1960.
7. Навилович А. А. Сопротивление связных грунтов сдвигу при расчете гидротехнических сооружений на устойчивость. Стройиздат, М., 1948.
8. Беляев С. М. Сопротивление материалов. Гостехиздат, М., 1953.
9. Маслов Г. Н. К вопросу об условиях проявления ползучести глинистых грунтов в основаниях подпорных сооружений. Научные доклады Высшей школы. Строительство, № 1, 1958.
10. Сотников С. Н. Закономерности развития деформации ползучести глинистых грунтов при сдвиге. Научное сообщение ЛИСИ, 1960.
11. Костерин Э. В. К методике определения сопротивления сдвигу глинистых грунтов. Гидротехническое строительство, № 7, 1957.
12. Денисов Н. Я. О природе деформации глинистых пород. Изд. Минречфлота, М., 1961.
13. Ломазе Г. М., Гуткин А. М., Жуков Н. В. Измерение условно-мгновенного модуля упругости в связных грунтах. Инженерно-физический журнал, 5, № 5, 1962.
14. Денисов Н. Я., Рельтов Б. Ф. Упругие и структурные деформации глинистых пород. Материалы к IV Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. Изд. АН СССР, М., 1967.
15. Ерихов Б. П. Известия ВНИИГ, 63, 1960.
16. Месчян С. Р. Кольцевой прибор для изучения ползучести и длительного сопротивления сдвигу глинистых грунтов методом кручения. Изв. АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 15, № 5, 1962.