

Г. А. АРШАКЯН, С. Р. МЕСЧЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ СДВИГОВЫХ И ОБЪЕМНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Опытами установлено, что при кручении образцов глинистого грунта, уплотненного в условиях отсутствия бокового расширения, под действием касательных напряжений (деформации сдвига) возникают деформации объема, а под действием нормальных напряжений (деформации объема)—деформации сдвига, величина которых обусловлена соотношением касательных и нормальных напряжений.

Дополнительная деформация объема гранулированного материала (песка), вызванная деформацией сдвига, впервые обнаружена О. Рейнольдсом в 1886 г. и названа *дилатансией*.

У недоуплотненных рыхлых грунтов сдвиговые деформации вызывают их дополнительное уплотнение—положительную дилатансию, а у плотных переуплотненных грунтов вызывают увеличение объема—отрицательную дилатансию (разрыхление). У нормально уплотненных грунтов дилатансия равна нулю. Как отмечал Н. Я. Денисов [1], пористость грунтов при сдвиге стремится к критическому значению, а состояние—к нормально уплотненному.

Явление дилатансии имеет важное значение для определения деформации объема (уплотнения) грунтов. Оно имеет также значительное влияние на прочностные свойства грунтов. Как отмечает А. У. Бишоп [2], действие касательных напряжений (деформаций сдвига) на водонасыщенные рыхлые пески при отсутствии дренажа может привести к их частичному разрыхлению и к катастрофическим оползням.

Опытами установлено [3], что наряду с дилатансией грунты обладают свойством изменяемости деформаций сдвига под действием деформаций объема (нормальных напряжений).

Отмеченные выше свойства глинистых грунтов, в отличие от песчаных, исследованы слабо. Поэтому нами выполнена эта работа по изучению взаимовлияния сдвиговых и объемных деформаций глинистых грунтов в условиях простого деформирования. Образцы грунтов испытаны в условиях уплотнения без возможности бокового расширения (компрессии) и последующего сдвига (кручения) на приборах М-5 [4] конструкции одного из авторов этой статьи.

На приборах М—5 уплотнение (сжатие) образцов осуществляется в условиях отсутствия бокового расширения. Поэтому общую объемную деформацию, равную деформации одномерного уплотнения (компрессии) ε_c , можно представить в следующем виде:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{c(1)} + \varepsilon_{c(2)}, \quad (1)$$

а общую деформацию простого сдвига γ :

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_{22}, \quad (2)$$

где $\epsilon_c(\sigma_z)$ — объемная (компрессионная) деформация грунта от действия нормального напряжения σ_z ; $\epsilon_{c(\tau)}$ — дополнительная объемная деформация образца от действия касательного напряжения τ (сдвига); γ_c — деформация сдвига от действия касательного напряжения; γ_{z_0} — дополнительная деформация сдвига от действия нормального напряжения σ_z (деформации уплотнения).

Для определения дилатансии (положительной или отрицательной) глинистого грунта в зависимости от его начального состояния плотности и структурной прочности испытан суглинок ($\rho_s=2,64 \text{ г/см}^3$; $w_L=0,299$; $w_p=0,217$; $J_p=0,082$) нарушенного сложения, отобранного из строительства Егвардского водохранилища (Республика Армения). Испытаны четыре серии образцов-близнецов, диаметром 101 мм, высотой 24 мм, с начальной влажностью $w_0=0,263$. Испытаны 17 образцов, из которых 13 — четырьмя сериями, предварительно уплотнены под действием $\sigma_{z_0}=0,05$; 0,15; 0,30 и 0,60 МПа (см. табл. 1) и испытаны на сдвиг (кручение) под действием одного и того же напряжения — 0,05 МПа. Разгрузка образцов до 0,05 МПа осуществлена после полной стабилизации деформации уплотнения. Четыре контрольных образца предварительно уплотнены под действием указанных выше напряжений, затем разгружены до 0,05 МПа и использованы для определения их физических характеристик.

Таблица 1

Параметры физических свойств испытанных образцов перед их кручением

Показатели плотности (ρ_f) и влажности (w_f) после разгрузки образцов до 0,05 МПа	Начальное уплотняющее давление σ_z , МПа			
	0,05	0,15	0,30	0,60
Плотность, г/см ³	1,95	1,954	1,955	1,949
Влажность	0,313	0,269	0,272	0,237

Уплотнение образцов осуществлялось их загрузкой ступенями по 0,025 МПа через каждый час. Разгрузка образцов и их испытание на сдвиг (кручение) выполнялось после полной стабилизации деформации разуплотнения (набухания). Закручивание образцов выполнялось с приложением крутящих моментов со скоростью 20 кг·см в минуту. В процессе испытания образцов измеряли вертикальные (объемные) деформации индикаторами часового типа с точностью 0,001 мм, а деформации сдвига — прогибомерами Максимова с точностью 0,01 мм.

Результаты испытания образцов, соответствующие предпоследней ступени приложения крутящего момента, приведены в табл. 2.

Результаты испытания образцов гр. 62—87 на кручение

$\sigma_{z,0}$ МПа	$\sigma_{z,0}$ МПа	Кол-во образцов	τ/m МПа	$\Delta h_{m,0}$ мм	$\epsilon_{cm}(\tau)$
0.05	0.05	4	0.0192	+0.135	+0.00563
0.15	0.05	3	0.0296	+0.009	+0.000375
0.30	0.05	3	0.0615	-0.098	-0.00408
0.60	0.05	3	0.0790	-0.353	-0.0147

Как видно из таблицы 1, образцы всех четырех серий обладали практически одинаковыми значениями плотности при практически закономерном уменьшении их влажности по мере возрастания начального уплотняющего давления. Из данных, приведенных в табл. 2 следует, что образцы, подвергнутые предварительному уплотнению под действием $\sigma_{z,0}=0,05$ и $0,15$ МПа, при кручении (сдвиге) проявили положительную дилатансию—уплотнение, а образцы предварительно уплотненные под действием $\sigma_{z,0}=0,3$ и $0,6$ МПа подверглись отрицательной дилатансии—разрыхлению. Совершенно очевидно, что в рассматриваемом случае знак дилатансии обусловлен не плотностью испытанных образцов, а их влажностью и структурной прочностью. При относительно высокой влажности и небольшой структурной прочности образцов при сдвиге имеет место их уплотнение, а при относительно небольшой влажности и большой структурной прочности, приобретенные им под действием $\sigma_{z,0}=0,3$ и $0,6$ МПа,—разуплотнение, разрыхление. Совершенно очевидно также, что у испытанного грунта имеется некоторое критическое состояние, при котором его дилатансия равна нулю.

Из изложенного выше следует, что в отличие от песков знак дилатансии глинистых грунтов (кроме плотности) существенно зависит от их влажности и структурной прочности, обусловленные уплотнением под действием высоких давлений.

Для определения расчетной модели глинистого грунтового материала и построения реологического уравнения состояния представляет особое значение установление взаимовлияния объемных и сдвиговых деформаций. В целях исследования этого вопроса на приборах кручения сплошных образцов М—5 испытан грунт за лабораторным №64—88 ($\rho_s=2,54$ г/см³, $w_L=0,310$; $w_p=0,220$; $I_p=0,09$). Приготовлены 12 образцов-близнецов ($\rho=1,81$ г/см³, $w_0=0,234$) нарушенного сложения. После предварительного уплотнения под действием $\sigma_{z,0}=0,025$ МПа образцы испытаны четыремя (I—IV) различными режимами последовательного приложения ступеней касательного $\Delta\tau$ и нормального $\Delta\sigma_z$ напряжений (см. табл. 3). Повторность опытов трехкратная.

Таблица 3

Таблица режимов загрузки образцов-близнецов

№ режима	Степень нормального напряжения $\Delta\sigma_z$, МПа	Степень касательного напряжения $\Delta\tau$, МПа	№ № приборов
I	0.025	0.0098	15, 16, 17
II	0.025	0.0148	11, 12, 14
III	0.025	0.0244	3, 4, 5
IV	0.025	0.0338	1, 18, 20

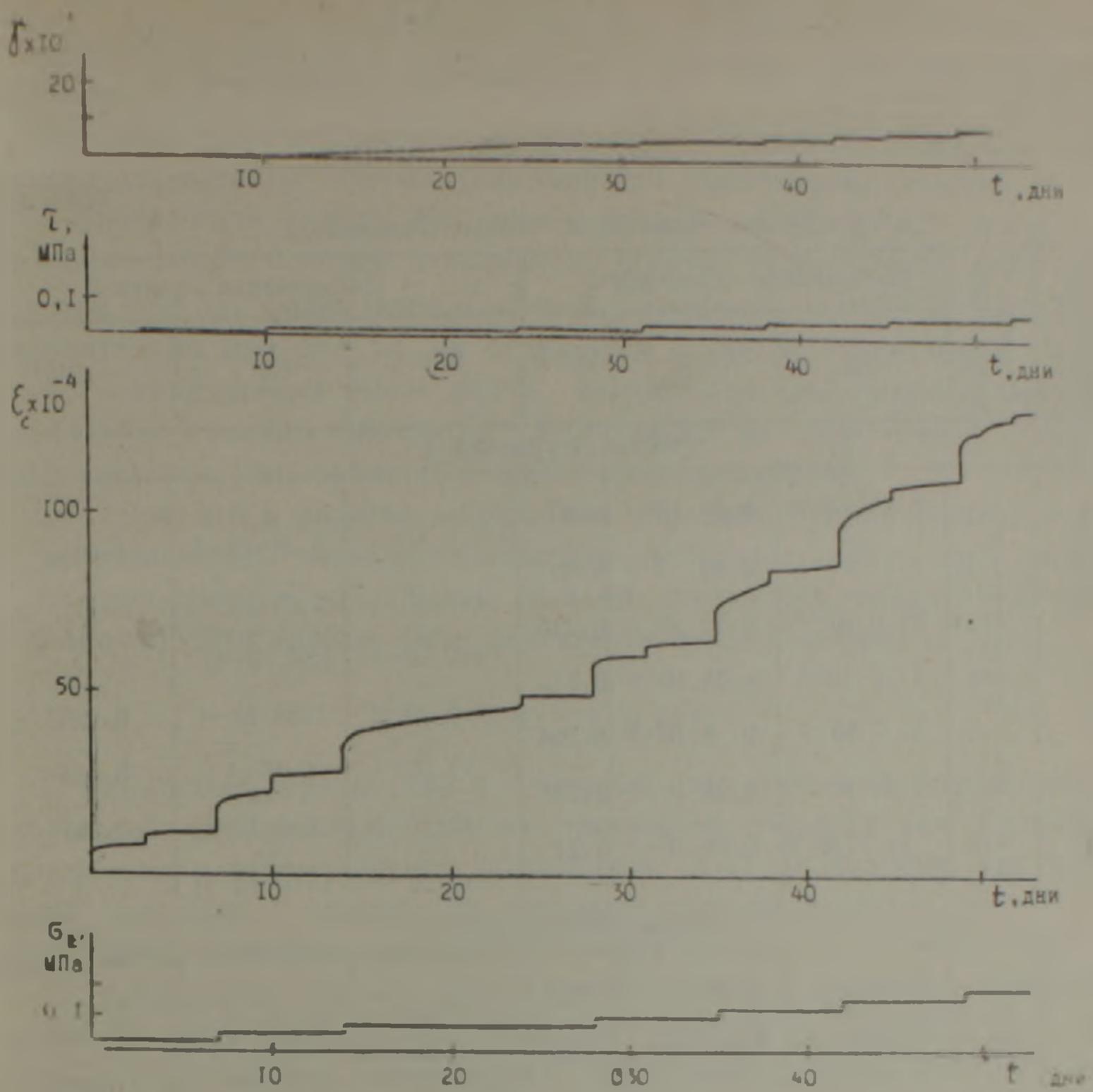


Рис. 1. Графики последовательного приложения к образцам грунта ступеней нормальных напряжений $\Delta\sigma_z$ при отсутствии возможности бокового расширения и касательного напряжения $\Delta\tau$ при кручении и кривые ползучести одномерного сжатия ϵ_c-t и простого сдвига $\gamma-t$; $\Delta\sigma_z=0,025$ МПа, $\Delta\tau=0,0098$ МПа.

Результаты испытания образцов-близнецов представлены на рис. 1. Для количественной оценки взаимодействия объемных и сдвиговых деформаций в табл. 4 приведены конечные значения деформаций уплотнения $\Delta\epsilon_{c(\sigma_z)}$, $\Delta\epsilon_{c(\tau)}$ и сдвига γ - и γ_{σ_z} от действия ступеней нормального $\Delta\sigma_z$ и касательного $\Delta\tau$ напряжений, полученные в четырех режимах загрузки.

Опыты показали, что в первых двух режимах загрузки образцов ($\Delta\tau < \Delta\sigma_z$) не исчерпывается их сопротивление сдвигу в силу опережающего по сравнению с возрастанием касательных напряжений, увеличения прочности грунта под действием нормальных напряжений. В двух последующих режимах загрузки образцов ($\Delta\tau > \Delta\sigma_z$) потеря их прочности соответственно наступила на четвертой и третьей ступенях приложения касательного напряжения.

Во всех состояниях грунта, обусловленных его уплотнением под действием нормальных напряжений, деформации сдвига (касательные напряжения) приводили к проявлению дополнительных деформаций

уплотнения—к положительной дилатансии.. Это, по-видимому, обусловлено небольшим изменением начального состояния образцов под действием относительно небольших уплотняющих давлений.

Таблица 4

Данные испытания образцов-близнецов

№ ступени загрузки	Ступени напряжений	Деформации уплотнения			Деформации сдвига		
		$\Delta \epsilon_c(\sigma_z)$	$\Delta \epsilon_c(\tau)$	$D(\epsilon_c)$	$\Delta \gamma_1$	$\Delta \gamma_2$	$D(\gamma)$
Режим загрузки I							
1	$\Delta \sigma_z$	$0.81 \cdot 10^{-3}$	$0.31 \cdot 10^{-3}$	0,37	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$3.5 \cdot 10^{-4}$	$0.21 \cdot 10^{-4}$	0,06
2	$\Delta \sigma_z$	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$0.49 \cdot 10^{-3}$	0,445	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$1.9 \cdot 10^{-4}$	$0.21 \cdot 10^{-4}$	0,11
3	$\Delta \sigma_z$	$2.0 \cdot 10^{-3}$	$0.23 \cdot 10^{-3}$	0,115	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$6.2 \cdot 10^{-4}$	$(38 \cdot 10^{-4})$?
4	$\Delta \sigma_z$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$0.38 \cdot 10^{-3}$	0,316	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$5.6 \cdot 10^{-4}$	$1.25 \cdot 10^{-4}$	0,223
5	$\Delta \sigma_z$	$1.7 \cdot 10^{-3}$	$0.5 \cdot 10^{-3}$	0,294	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$11 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	0,454
6	$\Delta \sigma_z$	$1.9 \cdot 10^{-3}$	$0.44 \cdot 10^{-3}$	0,23	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$13 \cdot 10^{-4}$	$6.6 \cdot 10^{-4}$	0,507
7	$\Delta \sigma_z$	$1.7 \cdot 10^{-3}$	$0.36 \cdot 10^{-3}$	0,21	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$6.8 \cdot 10^{-4}$	$(8.6 \cdot 10^{-4})$?
Режим загрузки IV							
1	$\Delta \sigma_z$	$6.4 \cdot 10^{-4}$	$1.99 \cdot 10^{-3}$	3,11	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$2.7 \cdot 10^{-2}$	$3.3 \cdot 10^{-1}$	0,012
2	$\Delta \sigma_z$	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$1.52 \cdot 10^{-3}$	1,08	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$2.47 \cdot 10^{-3}$	$2.2 \cdot 10^{-1}$	0,009
Режим загрузки II							
1	$\Delta \sigma_z$	$4.6 \cdot 10^{-4}$	$5.7 \cdot 10^{-4}$	1,24	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$2.4 \cdot 10^{-3}$	$0.57 \cdot 10^{-3}$	0,23
2	$\Delta \sigma_z$	$5.1 \cdot 10^{-4}$	$16 \cdot 10^{-4}$	3,13	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$3.0 \cdot 10^{-2}$	$6.039 \cdot 10^{-2}$	0,013
3	$\Delta \sigma_z$	$2.3 \cdot 10^{-3}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$	0,565	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$5.4 \cdot 10^{-2}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$	0,277
4	$\Delta \sigma_z$	$3.6 \cdot 10^{-2}$	$0.07 \cdot 10^{-2}$	0,019	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$7.9 \cdot 10^{-2}$	$0.068 \cdot 10^{-2}$	0,0086
5	$\Delta \sigma_z$	$3.1 \cdot 10^{-3}$	$0.5 \cdot 10^{-3}$	0,16	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$1.9 \cdot 10^{-1}$	$0.008 \cdot 10^{-1}$	0,0042
Режим загрузки III							
1	$\Delta \sigma_z$	$5.3 \cdot 10^{-1}$	$1.63 \cdot 10^{-4}$	3,07	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$1.34 \cdot 10^{-2}$	$0.04 \cdot 10^{-2}$	0,029
2	$\Delta \sigma_z$	$8.1 \cdot 10^{-1}$	$24.7 \cdot 10^{-4}$	3,05	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$5.4 \cdot 10^{-2}$	$0.25 \cdot 10^{-2}$	0,045
3	$\Delta \sigma_z$	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$1.58 \cdot 10^{-3}$	1,44	—	—	—
	$\Delta \tau$	—	—	—	$1.77 \cdot 10^{-1}$	$0.01 \cdot 10^{-1}$	0,0056

Судя по полученным экспериментальным данным (см. табл. 4), при $\Delta \tau < \Delta \sigma_z$ коэффициент дилатансии $D(\epsilon_c) = \Delta \epsilon_c(\tau) / \Delta \epsilon_c(\sigma_z)$ в основном меньше единицы. Когда $\Delta \tau > \Delta \sigma_z$ наблюдается резкое возрастание положительной дилатансии (дополнительного уплотнения) грунта до $D(\epsilon_c) = 3,11$. Изложенное свидетельствует о том, что влияние деформа-

ции сдвига (касательных напряжений) на объемные деформации грунта весьма существенное и его учет при определении их является обязательным.

Представляют определенный интерес результаты определения влияния деформаций объема (одномерного уплотнения, сжатия) грунта на деформации сдвига. Как видно из табл. 4, изменение деформации сдвига под действием деформаций объема (нормальных напряжений) при $\Delta\tau < \Delta\sigma_z$ колеблется в широких пределах $0,0042 < D(\tau) \leq 0,507$. Следовательно при $\Delta\tau < \Delta\sigma_z$ на отдельных ступенях приложения нормального напряжения имеет место возрастания деформации сдвига. При $\Delta\tau > \Delta\sigma_z$ влияние объемных деформаций на деформаций сдвига незначительное (см. табл. 4) и им можно пренебречь.

Отметим, что в режиме загрузки образцов 1 были фиксированы две, на наш взгляд очевидно ошибочные, величины деформаций сдвига от действия деформаций объема (в табл. 4 отмечены восклицательными знаками). Эти данные нами исключены из рассмотрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Глинистые грунты, как и песчаные, под действием касательных напряжений (деформаций сдвига) проявляют свойства как положительной, так и отрицательной дилатансии. Знак дилатансии, при всех равных условиях, в отличие от песчаных грунтов, зависит также от структурной прочности грунта.

2. Деформации объема (уплотнения) грунта от действия деформации сдвига могут быть в несколько раз больше его деформации от действия нормального напряжения. При расчете деформации объема (одномерного уплотнения) глинистых грунтов учет дилатансии является обязательным.

3. Влияние деформации сдвига на деформации объема грунта зависит от уровня касательного напряжения по отношению к величине нормального напряжения. Чем выше уровень касательного напряжения, тем больше дилатансия грунта.

4. Установлено определенное влияние деформаций объема (уплотнения) на деформации сдвига грунта при небольших ступенях касательного напряжения ($\Delta\tau < \Delta\sigma_z$). При $\Delta\tau > \Delta\sigma_z$ это влияние незначительное и им можно пренебречь.

Институт геологических наук
НАН РА

Поступила 16.VI.1993

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов Н. Я. О природе высокой чувствительности плавунных глин—Основания, фундаменты и механика грунтов. 1963, № 5, с. 5—8
2. Бишоп А. У. Параметры прочности при сдвиге ненарушенных и перемятых образцов грунтов. В кн: Определяющие законы механики грунтов—М.: Мир, 1975. с. 7—75.

3. Ломизе Г. М. О закономерностях деформируемости лессовых грунтов. В кн. Механические свойства грунтов и вопросы строительства зданий и сооружений на увлажненных лессовых основаниях—Грозный: Чечено-ингушское книжное издательство. 1968, с. 80—91.
4. Месчян С. Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. М.: Недра, 1985, с. 342.

Գ. Ա. ԱՐՇԱԿՅԱՆ, Ս. Ռ. ՄԵՍՉՅԱՆ

ԿԱՎԱՅԻՆ ԿԵՏՆԱՀՈՂԵՐԻ ԾԱՎԱԼԱՅԻՆ ԵՎ ՍԱՀՔԻ ՉԵՎԱԽԱԽՏՈՒՄՆԵՐԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Փորձերով պարզվել է, որ կողային ընդարձակման բացակայության պայմաններում ոլորվող կավային գետնահողերում շոշափող լարումների (սահքի ձևախախտումների) ազդեցությամբ առաջանում են ծավալային ձևախախտումներ, իսկ նորմալ սեղմող լարումների (ծավալային ձևախախտումների) ազդեցությունից՝ սահքի ձևախախտումներ, որոնց մեծությունը պայմանավորված է շոշափող և նորմալ լարումների հարաբերությամբ:

G. A. ARSHAKIAN, S. R. MESCHIAN

RESEARCH OF MATUAL INFLUENCE OF SHEAR AND VOLUME STRAINS OF CLAY SOILS

Abstract

By the experiments it is found that when samples of clay soil condensed under the conditions of absense of lateral extention are subjected to torsion then volume strains are brought about by tangential stresses (shear strain), and shear strains are brought about by normal stresses (volume strain), their magnitudes being duc to a ratio of tangential and normal stresses.

Известия НАН РА. Науки о Земле, XLVI, 1993, № 3, 36—44

Վ. Բ. ԳԱՄՕՅԱՆ, Ա. Վ. ԳԵՎՈՐԿՅԱՆ

ЕСТЕСТВЕННОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ СТОЛБООБРАЗНОЙ ЗАЛЕЖИ

Установлены недостатки известной в геофизической литературе физико-геологической модели ЕЭП столбообразного рудного тела. Натурными исследованиями изучено объемное распределение металллонов и по-