

ТЕОРИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ

С. Р. МЕСЧЯН

О ДЛИТЕЛЬНОМ СОПРОТИВЛЕНИИ СДВИГУ ГЛИНИСТЫХ
ГРУНТОВ

Строительной практике известно много случаев внезапного разрушения земляных сооружений и естественных склонов после долгих лет их безупречной службы. Это весьма распространенное явление объясняется [1, 2] понижением прочности глинистых грунтов вследствие влияния *ползучести*, то есть их длительного деформирования под действием внешних постоянных нагрузок.

В целях выяснения причин указанного явления как у нас в СССР, так и за рубежом за последние годы проведены большие работы по исследованию *длительной прочности* (длительного сопротивления сдвигу) глинистых грунтов—изменяемости показателей прочности (сопротивления сдвигу) в зависимости от продолжительности действия постоянной внешней нагрузки. Было установлено, что увеличение длительности действия постоянной внешней нагрузки может привести как к понижению [1, 2], так и к повышению [3, 4] прочности грунтов. То есть были получены явно противоречивые результаты, частично опровергающие возможность понижения прочности (сопротивления сдвигу) глинистых грунтов вследствие влияния ползучести.

Поскольку существующие данные о длительной прочности (сопротивлении сдвигу) глинистых грунтов были противоречивыми, а изменяемость прочности (сопротивления сдвигу) связывалась с увеличением длительности действия внешней нагрузки, в целях уточнения вопроса, автором настоящих строк, начиная с 1958 г., проводятся исследования по длительному сопротивлению их сдвигу. Результаты полученных данных частично были опубликованы ранее [5, 6]. Новые данные, подтверждающие полученные ранее результаты, приводятся в этой заметке.

Длительная прочность (сопротивление сдвигу) материалов (грунтов), как известно [7], определяется испытанием нескольких образцов-близнецов при различных постоянных нагрузках (сжимающих при одноосном и трехосном сжатии, касательных при простом сдвиге, срезе), не превышающих их «стандартную» (начальную, кратковременную) прочность (сопротивление сдвигу). Для установления характера изменяемости прочности материала, в зависимости от длительности действия постоянного напряжения t , полученные из длительных

опытов данные сравниваются со „стандартной“ прочностью (сопротивлением сдвигу) грунта.

„Стандартная“ прочность (сопротивление сдвигу $q_{ст}$) грунтов в разных лабораториях определяется по разным методам, отличающимся друг от друга длительностью разрушения (среза) образцов.

Чтобы выяснить влияние метода определения $q_{ст}$ на изменяемость сопротивления глинистых грунтов сдвигу в зависимости от длительности действия постоянных нагрузок, нами было исследовано влияние длительности среза на $q_{пр}$. Результаты испытаний, проведенных на приборах одноплоскостного среза, приведены в [5], а данные, полученные на приборах кольцевого сдвига [8], излагаются ниже.

Испытания на приборах кольцевого сдвига проводились на нормально уплотненных образцах-близнецах трех грунтов (табл. 1) нарушенной структуры, предварительно уплотненных нагрузками $\sigma = 2 \text{ кг/см}^2$ в течение 20–30 дней. Высота образцов до уплотнения 24 мм, после — 21–22 мм. Повторность опытов — двухкратная.

Таблица 1

Лаб. № грунта	Наименование	Удельный вес $\gamma/\text{см}^3$	Пределы пластичности		
			граница текучести	граница пла- стичности	число пла- стичности
2–57	Суглинок	2.66	31.3	18.6	12.7
4–57	Глина	2.70	41.2	23.3	18.0
6–57	Часоваярская глина	2.65	59.07	21.2	37.87

Как и ранее [5], образцы-близнецы испытывались на срез приложением постоянных ступеней нагрузок через различные интервалы времени — 5 сек, 1 мин, 1 час, 12 часов. Кроме того, образцы-близнецы испытывались по стандартной методике, зафиксированной в „Руководстве по лабораторному определению физико-механических характеристик грунтов при устройстве оснований сооружений“ [9], имеющей широкое применение в лабораторной практике в СССР.

Отметим, что под стандартным сопротивлением сдвигу, согласно [9], подразумевается сопротивление, определенное по методике, при которой каждая последующая ступень нагрузки прикладывается к образцу после достижения им условной стабилизации деформации сдвига. За условную стабилизацию деформации сдвига мы принимали скорость сдвига 0.005 мм/мин.

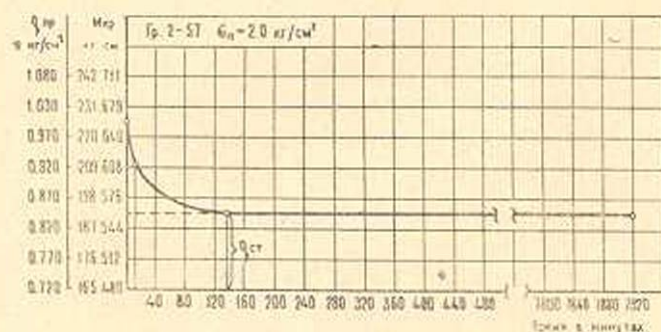
В течение всего опыта фиксировались как сдвиговые деформации, так и деформации сжатия (уплотнения). Деформация объема образцов не превышала 1.5%, поэтому считали, что сдвиг практически протекает в условиях постоянного объема. Результаты испытания образцов-близнецов двух грунтов приведены в табл. 2, а суглинка

(таб. № 2—57) на фиг. 1 в виде графика кривой $q_{пр}$ — длительность среза t .

Таблица 2

Режим загрузки	Интервал приложения нагрузок				Стандартное испытание
	5 сек	1 мин	1 час	12 часов	
Грунт 4—57					
$h = 24$ мм, №№ опытов 4/657—4/666, $M_{пр} = 18$ кг. см					
Продолжительность среза в мин	1.2	11.5	600	7920	180
Число ступеней нагрузки	14/14	12/11	11	12/10	11/11
Сопротивление сдвигу, кг/см ²	1.03	0.82	0.77	0.78	0.77
Грунт 6—57					
$h = 24$ мм, №№ опытов 6/635—6/643, $M_{пр} = 9$ кг. см					
Продолжительность среза в мин	1	10.5	630	7920	178
Число ступеней нагрузки	11/12	10/11	11/10	11/11	12/11
Сопротивление сдвигу, кг/см ²	0.37	0.34	0.34	0.35	0.37

Результаты опытов показывают, что увеличение длительности (уменьшение скорости) среза t приводит к уменьшению сопротивления сдвигу $q_{пр}$ суглинка и глины на 20—30%. Вместе с тем, увеличение t практически не влияет на $q_{пр}$ часоварской глины. Причем, как



Фиг. 1.

и в случае испытания грунтов на приборах одноплоскостного среза, уменьшение $q_{пр}$ наблюдается на начальном участке кривой $q_{пр} = f(t)$, то есть при сравнительно кратковременных испытаниях (фиг. 1). При дальнейшем увеличении t $q_{пр}$ практически остается постоянным.

Наиболее интересным является то, что изменяемость $q_{пр}$ в зависимости от t , практически заканчивается в пределах времени, необходимых для испытания образцов по стандартной методике [9]. Именно поэтому автор выдвинул гипотезу о равенстве стандартного сопротивления сдвигу $q_{ст}$ пластичных грунтов длительному сопротивлению сдвигу $q_{дл}$ [5, 8]. Некоторые данные, подтверждающие правильность указанной гипотезы, приведены в [6], новые — приводятся ниже.

Отметим, что результаты, аналогичные приведенным выше, ранее получены Бьеррумом, Симонсом, Тарблебом [10] и Я. Л. Коганом и А. Н. Чухровой [11]. По их опытам понижение сопротивления грунтов сдвигу нарушенной и ненарушенной структуры также практически прекращается при продолжительности разрушения (одноосное сжатие) и среза — 100—180 минут, то есть в обычных пределах длительности стандартных испытаний. Понижение прочности при увеличении длительности разрушения цилиндрических образцов установлено также М. Н. Гольдштейном и С. С. Бабицкой [2]. Но, к сожалению, по приведенным их данным в [2] невозможно судить о характере изменяемости прочности в зависимости от режима загрузки.

Чем же можно объяснить понижение прочности (сопротивления сдвигу) глинистых грунтов до $q_{ст}$ ($q_{ст}$) при увеличении длительности разрушения (среза) образцов?

М. Н. Гольдштейном [12] (1957), С. С. Вяловым [13] (1959), С. Е. Могилевской [14] (1961) и др. установлено, что разрушение образцов грунта наступает при какой-то, постоянной для него, относительной деформации. Если это так, то очевидно, что чем меньше длительность разрушения, тем меньше возможность проявления деформации ползучести, и поэтому для достижения предельной деформации сдвига потребуется приложить больше ступеней нагрузок. При увеличении длительности опыта наблюдается обратная картина. А это значит, что понижение прочности (сопротивления сдвигу) обусловлено накоплением деформации ползучести и достижением предельной деформации $\gamma_{пр}$ при напряжениях, меньших кратковременной прочности грунта.

Деформация сдвига сопровождается разрушением структуры грунта. Поэтому и скорость накопления деформации и понижение прочности (сопротивления сдвигу) зависят от прочности структурных связей и скорости их разрушения. Чем больше структурная прочность грунта и меньше скорость разрушения структурных связей, тем больше понижение его прочности при увеличении длительности среза, и наоборот. Увеличение длительности разрушения (среза) способствует увеличению количества разрушенных связей и разупрочнению грунта.

Дальнейшее увеличение длительности испытания (среза) и резкое уменьшение скоростей деформации грунта, обладающего в основ-

ном *водноколлоидальными* связями, приводит к его упрочнению вследствие тиксотропии, лучшей упаковки и ориентации частиц [6] и образования более прочных структурных связей. Этому способствует также уплотнение грунта, правда, небольшое, в процессе сдвига в условиях сложного напряженного состояния. Грунты, преимущественно обладающие жесткими цементационными связями, при увеличении длительности опыта не упрочняются, поскольку разрушение указанных связей имеет необратимый характер.

Теперь познакомимся с результатами исследования *длительного сопротивления сдвигу*, проведенного (в соответствии с методикой, изложенной в [6]) для проверки гипотезы автора о равенстве $q_{ст} \approx q_{дл}$ [5, 8] и определения влияния длительности действия постоянной внешней нагрузки на сопротивление слегка переуплотненных грунтов сдвигу.

С указанной выше целью испытаны диатомитовый грунт (нарушенная структура), глина из Ереванской ГЭС (нарушенная структура) и глина неокома из Саратовской ГЭС (нарушенная и ненарушенная структура). Опыты проводились на приборах одноплоскостного среза и кольцевого сдвига. Повторность опытов двухкратная.

1. На приборах одноплоскостного среза испытаны диатомитовый грунт (лаб. № 5—57) и глина неокома (лаб. № 8—63). Как и ранее [6], для определения влияния длительности действия постоянной внешней нагрузки на $q_{пр}$ плотных и достаточно прочных грунтов, перед испытанием образцы-близнецы *нарушенной структуры* подвергались *четырем* (гр. № 5—57) и *восемимесячному* (гр. № 8—63) предварительному уплотнению под $\sigma = 8 \text{ кг/см}^2$. Испытания на сдвиг проводились при $\sigma = 4 \text{ кг/см}^2$.

Методика приготовления образцов-близнецов *нарушенной структуры* и условия проведения опытов прежние [6].

Стандартное сопротивление сдвигу ($q_{ст}$) определялось по изложенной выше *стандартной* методике [7], а испытание на ползучесть при двух значениях касательных напряжений—0,8 и 0,9 от $q_{ст}$. Скорости нарастания касательных напряжений при испытании образцов на ползучесть равнялись скоростям загрузки при определении $q_{ст}$.

Сведения об основных физических свойствах образцов до и после испытания приведены в табл. 3.

Выдерживание образцов-близнецов под нагрузками $q = 0,8$ и $0,9$ от $q_{ст}$ в течение 120 и 35 дней не привело к их срезу, поэтому, чтобы определить их сопротивление сдвигу (после испытания на ползучесть), они были доведены до среза по той же методике стандартного испытания. Результаты испытания образцов сведены в табл. 4.

Данные, приведенные в табл. 4, показывают, что после опыта на ползучесть сопротивление сдвигу переуплотненных грунтов *нарушен-*

ной структуры $q_{пр}$ по сравнению с $q_{ст}$ или остается без изменения, или же несколько увеличивается ($q_{пр}/q_{ст} = 1.08 - 1.15$).

Таблица 3

Лаб. № грунта	Наименование	Влажность в %			Объемный вес $\gamma_{см}^3$		Предел пластичности	
		пасты до уплот.	после стандартного испытания	после опыта на ползучесть	после стандартного испытания	после опыта на ползучесть	предел текучести	предел пластичности
5-57	диатомитовый грунт	56.3	41.5	39.5	1.72	1.71	58.1	32.23
8-61	глина неокома	67.1	33.8	34.6	1.82	1.83	69.9	34.8

Таблица 4

$q_{ст}$ $кг/см^2$	Сопротивление сдвигу после испытания на ползучесть при		$q_{ст}$ длительно уплот- ненных образцов $кг/см^2$	Количество испытанных образцов	Продолжитель- ность опыта на ползучесть, дней
	$q = 0,8 q_{ст}$	$q = 0,9 q_{ст}$			
гр. 5-57 (структура нарушенная)					
$\sigma_{нач} = 8 \text{ кг/см}^2$, $\sigma_{кон} = 4 \text{ кг/см}^2$. №№ опытов 5/965-5/971					
3.0	3.14	3.14	—	7	120
$q_{пр}/q_{ст}$	1.05	1.05	—	—	—
гр. 8-63 (структура нарушенная)					
$\sigma_{нач} = 8 \text{ кг/см}^2$, $\sigma_{кон} = 4 \text{ кг/см}^2$. №№ опытов 8/972-8/979					
1.62	1.75	1.87	1.62	7	35
$q_{пр}/q_{ст}$	1.08	1.15	1.0	—	—

Испытание на длительное сопротивление сдвигу глины неокома *ненарушенной* структуры выполнялось по изложенной выше методике. Образцы имели высоту 15 мм. До испытания на сдвиг они в течение 36 дней выдерживались под предварительно уплотняющей нагрузкой $\sigma = 2 кг/см^2$. Под этой же нагрузкой выполнялось испытание на сдвиг. Повторность опытов двухкратная. Всего было испытано семь образцов. Из них два — по стандартной методике, два под напряжением $q = 0.8 q_{ст}$, два — $q = 0.9 q_{ст}$ и один образец был оставлен под уплотняющей нагрузкой $\sigma = 2 кг/см^2$ для испытания на срез после окончания опытов на ползучесть.

В отличие от предыдущего случая, здесь по одному из образцов, загруженных $q = 0.8$ и 0.9 от $q_{ст}$, разрушились (срезались) через 2 — 3 часа после их загрузки и показали сопротивление сдвигу $q_{пр} = 1.25$ и $1.37 кг/см^2$ соответственно. Остальные образцы под ука-

занными нагрузками не разрушились, поэтому после опыта на ползучесть были доведены до среза.

Результаты указанных опытов приведены в табл. 5.

Таблица 5

$q_{ст}$ кг/см ²	Сопротивление сдвигу после испытания на ползучесть при		$q_{пр}$ длительно уплотненного об- разца кг/см ²	Количество испытанных образцов, штук	Продолжитель- ность опыта на ползучесть, дней
	$q = 0,8 q_{ст}$	$q = 0,9 q_{ст}$			
гр. 8—63 (структура ненарушенная)					
$h = 15$ мм, $\sigma_{нач} = 2$ кг/см ² , $\sigma_{кон} = 2$ кг/см ² , №№ опытов 8,627—8,633					
1,5	1,5	1,87	1,75	5	140—149
$q_{пр}/q_{ст}$	1,0	1,22	1,16	—	—

Данные, приведенные в табл. 5, показывают, что те образцы, которые не разрушились при $q = 0,8$ и $0,9 q_{ст}$, показали повышение сопротивления сдвигу после опыта на ползучесть.

Поскольку вырезка образцов грунта ненарушенной структуры жесткой консистенции была связана с определенными трудностями, автор склонен думать, что как „повышение“ сопротивления сдвигу после опыта на ползучесть, так и „разрушение“ образцов при $q = 0,8$ и $0,9$ от $q_{ст}$ в значительной степени обусловлены образованием микро и макротрещин в них во время их вырезки. А это значит, что к результатам испытания грунтов жесткой консистенции (в частности глины неомома) ненарушенной структуры надо относиться очень осторожно, ибо процесс вырезки образцов сопровождается образованием трещин в них и их разупрочнением.

2. На приборах кольцевого сдвига „Гидропроекта“, подвергнутых небольшой переделке [8], были испытаны образцы-близнецы из глины (таб. № 9—63) нарушенной структуры в двух различных его начальных состояниях плотности—влажности.

Изготовление серий образцов-близнецов двух различных состояний выполнялось предварительным уплотнением грунтовой пасты нагрузками $\sigma = 2$ и 4 кг/см², с последующей разгрузкой до $\sigma = 1$ и 2 кг/см² соответственно. Испытания на ползучесть выполнялись при тех же нормальных нагрузках.

В каждой серии испытывались по 14—15 образцов-близнецов при постоянных касательных напряжениях $q = 0,1, 0,3, 0,5, 0,7$ и $0,9$ от $q_{ст}$. Стандартное сопротивление сдвигу ($q_{ст}$) определялось испытанием 2х—3х образцов-близнецов. Как и в описанных выше случаях, скорость приложения касательных напряжений полностью соответствовала загрузке образцов при определении $q_{ст}$.

Данные о физических свойствах серий образцов-близнецов до и после опыта на ползучесть приведены в табл. 6.

Таблица 6

$\sigma_{\text{кон}}, \text{кг/см}^2$	Удельный вес $\gamma, \text{г/см}^3$	Влажность в %			Объемный вес $\gamma, \text{г/см}^3$		Пределы пластичности	
		пасты до уплотнения	после стандартного испытания	после опыта на ползучесть	после стандартного испытания	после опыта на ползучесть	предел текучести	предел пластичности
1	2.68	42.6	35.8	—	1.80	1.76	42.4	24.4
2	2.68	44.1	32.6	33.0	1.81	1.82	—	—

Как и при испытании образцов на приборах одноплоскостного среза, так и в рассматриваемом случае опыты на ползучесть при напряжениях $q < q_{\text{ст}}$ не привели к разрушению (срезу) образцов. Поэтому, как и ранее, после опыта на ползучесть образцы были доведены до среза по методике стандартного испытания. Полученные данные приведены в табл. 7.

Таблица 7

$q_{\text{ст}}$ кг/см ²	Сопротивление сдвигу после длительного опыта на ползучесть при		$q_{\text{пр}}$ длительно уплотненных, но не испытанных на ползучесть об- разцов кг/см ²	Продолжитель- ность предвари- тельного уплот- нения, дней	Продолжи- тельность ползучести, дней
	$q = 0,7 q_{\text{ст}}$	$q = 0,9 q_{\text{ст}}$			
$\sigma_{\text{нач}} = 2 \text{ кг/см}^2, \quad \sigma_{\text{кон}} = 1 \text{ кг/см}^2$					
0.38	0.48	0.55	—	87	30
$q_{\text{пр}}/q_{\text{ст}}$	1.26	1.45	—	—	—
$\sigma_{\text{нач}} = 4 \text{ кг/см}^2, \quad \sigma_{\text{кон}} = 2 \text{ кг/см}^2$					
0.77	0.89	0.98	0.77	67	72
$q_{\text{пр}}/q_{\text{ст}}$	1.15	1.27	1.0	—	—

В табл. 4, 5 и 7 приведены также данные (четвертая колонка) о сопротивлении сдвигу образцов, выдержанных под уплотняющими нагрузками в течение всего опыта на сдвиг, но не испытанных на ползучесть. Как и ранее [6], эти испытания выполнены для установления влияния уплотнения и тиксотропного упрочнения в процессе ползучести на сопротивление грунта сдвигу.

Анализ полученных результатов и данных, приведенных в таблицах 4 и 7, показывает:

1) независимо от вида пластичного грунта, его состояния к началу опыта и приборов испытания, испытание на ползучесть при напряжениях $q < q_{\text{ст}}$ не приводит к их разрушению (срезу). Наоборот,

испытание на ползучесть в большинстве случаев приводит к существенному упрочнению грунта;

2) чем больше плотность и меньше влажность грунта, тем меньше его упрочнение после ползучести;

3) испытание на ползучесть практически не приводит к изменениям начального объемного веса и влажности грунта. Поэтому повышение сопротивления сдвигу, по сравнению с $q_{ст}$, нельзя объяснить уплотнением грунта во время опыта на ползучесть;

4) упрочнение грунта нельзя объяснить также его тиксотропным упрочнением, поскольку сопротивление сдвигу образцов, не подвергнутых испытанию на ползучесть, но выдержанных под уплотняющими нагрузками в течение всего опыта, практически не изменяется по сравнению с $q_{ст}$;

5) поскольку отсутствуют уплотнение и тиксотропное упрочнение, упрочнение грунта можно объяснить явлениями, связанными с деформациями ползучести при сдвиге, — переориентацией частиц и образованием более прочных связей между ними в процессе сдвига [6]. Завершается ли эта переориентация соединением частиц с частицами, имеющими пленки связанной воды наименьшей толщины (места наименьшей блокировки межмолекулярных сил) [15], или же с более устойчивым треугольным расположением [16] и т. д. трудно сказать, ибо этот вопрос окончательно не решен и требует дальнейшего изучения. Однако, очевидно, что упрочнение грунта в рассматриваемом случае обусловлено переустройством частиц в процессе сдвига.

Разумеется, сказанное не относится к грунтам преимущественно обладающим жесткими (цементационными) связями. В этом случае, ввиду необратимого разрушения указанных связей, упрочнение грунта за счет образования новых связей практически невозможно.

Полученные данные позволяют заключить, что 1) гипотеза автора [6, 8] о равенстве *стандартного сопротивления сдвигу* пластичных глинистых грунтов их *длительному сопротивлению сдвигу* ($q_{ст} \approx q_{дл}$) является правильной; 2) увеличение длительности испытания на ползучесть при напряжениях $q < q_{ст}$ в большинстве случаев приводит к *повышению* сопротивления сдвигу — к повышению прочности грунта.

Эти выводы автора [6, 8] подтверждаются опытами В. В. Жихович [17].

Используя аналогичную с нашей методику определения $q_{ст}$ и изучая влияние длительности действия постоянных касательных напряжений (при $q = 0.7 - 0.86 q_{ст}$, $t = 25 - 45$ дней) на прочностные свойства мезотической глины нецарушенной структуры одесского побережья (твердой и полутвердой консистенции), В. В. Жихович обнаружил их упрочнение до 40%. Такие же результаты были получены А. Казагранде и С. Уилсоном [1], Р. Хефели [3], Сидом и др. [4], Тролопом и Чэном [16] при испытании искусственно приготовлен-

ных образцов (с полным и неполным водонасыщением) на одноосное раздавливание при постоянном их объеме.

Возникает вполне законный вопрос: чем же можно объяснить понижение прочности грунтов при увеличении длительности испытания на ползучесть, зафиксированное в ряде других лабораторий другими авторами [1, 2, 12, 16].

Еще в 1962 г. автор настоящих строк пришел к выводу [6], что указанные результаты, в основном, обусловлены методикой определения начальной, *стандартной* прочности (сопротивления сдвигу) грунтов. Чтобы убедиться в правильности высказанного положения этот вопрос осветим несколько более подробно.

В отличие от принятой в большинстве лабораторий механики грунтов научно-исследовательских учреждений и проектных организаций СССР методики, М. Н. Гольдштейн и С. С. Бабицкая [2] *„стандартную“* прочность определяют испытанием цилиндрических образцов на одноосное и трехосное сжатие методом *ускоренного раздавливания*. По указанной методике нагрузки прикладывают к образцу равными ступенями через каждые 5 сек, а величина ступени принимается равной 8–10% от ожидаемой прочности грунта. Продолжительность испытания образцов по этой методике *менее одной минуты*, тогда как по стандартной методике [7] она колеблется в пределах 1,5–3-х часов.

За рубежом, независимо от системы испытания (закрытая или открытая), начальная („стандартная“) прочность глинистых грунтов, в основном, определяется одноосным или трехосным раздавливанием цилиндрических образцов при длительности опыта 10–15 мин. [1, 16].

Принимая во внимание результаты приведенных выше опытов по исследованию влияния длительности среза на сопротивление грунтов сдвигу, нетрудно понять, что полученные указанным методом прочностные характеристики будут всегда выше, чем $\sigma_{ст}$ ($q_{ст}$). Поэтому, если за величину начальной („стандартной“) прочности принять $\sigma_{ст}$ ($q_{ст}$), то очевидно, что разрушение (срез) образцов произойдет при напряжениях $\sigma < \sigma_{уск}$ ($q < q_{уск}$), так как $\sigma_{ст} \approx \sigma_{ал} < \sigma_{уск}$.

По данным А. Казагранде и С. Уилсона [1], понижение прочности грунтов *ненарушенной структуры*, вследствие ползучести (при различной степени их водонасыщенности и консистенции от мягко пластической до полутвердой), колеблется в пределах 20–60%. Аналогичные опыты Д. Тролопа и К. Чэна [16] показали понижение прочности грунта *ненарушенной структуры* до 20%. Примерно такие же результаты получены А. М. Скибицким [18], А. Н. Гольдштейном и С. С. Бабицкой [2].

Судя по приведенным данным, понижение прочности грунтов нарушенной и ненарушенной структуры, вследствие ползучести, колеблется в пределах изменяемости их прочности при переходе от $\sigma_{уск}$ ($q_{уск}$) к $\sigma_{ст}$ ($q_{ст}$). Следовательно, $\sigma_{ст}$ ($q_{ст}$) действительно является наи-

меньшей прочностью (сопротивлением сдвигу) грунта и $\tau_{ст} (q_{ст}) \approx \tau_{дл} (q_{дл})$.

Поскольку стандартная прочность (стандартное сопротивление сдвигу) является довольно стабильным показателем прочности, то нецелесообразно пользоваться другими методами испытания образцов и определения длительной прочности грунтов. Тем более, что при ускоренном сдвиге затухают влияния пластических явлений (Н. Н. Маслов [19]), и наибольший интерес представляет изучение изменяемости прочности грунта „по сравнению со стандартной, находя последнюю в условиях стабилизации деформации от каждой ступени вертикальной и горизонтальной нагрузок“ (В. А. Флорин [20]).

Таким образом, противоречие в результатах разных авторов, о котором мы говорили выше, является результатом использования различных методик определения „стандартной“ (начальной) прочности (сопротивления сдвигу). Следовательно, чтобы впредь не было путаницы в этом деле, при определении изменяемости прочности (сопротивления сдвигу) грунтов за начальную (исходную) прочность надо брать $\sigma_{ст} (q_{ст})$, определяемую по общепринятой в СССР стандартной методике.

Вместе с тем надо отметить, что вывод автора о равенстве $q_{ст} \approx q_{дл}$ не относится к грунтам очень плотным и обладающим цементационными связями [5] (конденсационные структуры по П. А. Ребиндеру [21]). В этом случае ползучесть может привести к дальнейшему понижению прочности грунта, вследствие медленного, необратимого, разрушения цементационных связей и разрыхления [22] (увеличения объема) грунта в этом процессе. Однако, очевидно, что понижение прочности грунта ниже стандартной не может превышать 10–20%, ибо наибольшее фиксированное значение его по сравнению с $q_{уск}$ равно 60% [12], а наибольшая разница $q_{уск} - q_{ст}$ определяется величиной порядка 40% [17].

В заключение считаем необходимым заметить, что изложенное выше положение о разрушении (срезе) образцов при какой-то постоянной для него предельной деформации сдвига ($\gamma_{пр}$) справедливо только для сравнительно кратковременных испытаний. При длительных опытах на ползучесть разрушение образцов не наступает и тогда, когда деформация сдвига γ значительно больше $\gamma_{пр}$ ($\gamma > \gamma_{пр}$). Дело в том, что при малых скоростях ползучести, как бы не были велики деформации, формоизменение (сдвиг) пластичного грунта происходит в виде вязкого течения без разрыва его сплошности. Поэтому и ни в одном из опытов, как бы они ни были продолжительными (до одного года), деформация ползучести протекает без каких-либо признаков разрушения грунта.

Ս. Ռ. ՄԵՍԿՅԱՆ

ԿԱՎԱՅԻՆ ԲՆԱՀՈՂԵՐԻ ՍԱՀՔԻ ՀԱՐԱՏԵՎ ԴԻՄԱԳՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հողվածում բնութիւնն են տեսնում կալալին բնահողերի սահքի գիմադրութիւնն վրա նմուշների փորձարկման տեղութիւնն աղղեցութիւնն և սահքի հարաւան գիմադրութիւնն որոշման հարցերը:

Փորձերը կատարուել են խախտմամ կազմմամ ք. տնկցող կալալին բնահողերի նմուշների վրա, Մասլով-Լուրչիի և օղակալին կարման սարքերում:

Պարզված է, որ նմուշների փորձարկման տեղութիւնն աճը սկզբում (սկսած մեկ րոպեից մինչև 120—180 րոպե) բերում է սահքի գիմադրութիւնն նվազմանը մինչև 30% չափով, իսկ հետո, նրա մեծութիւնը մնում է կամ անփոփոխ, կամ աճում է 5—30%-ով:

Քանի որ կալալին բնահողերի սահքի ստանդարտ գիմադրութիւնն ($q_{\text{ստ}}$) որոշման գնաքում, նմուշների փորձարկման տեղութիւնը փոփոխվում է 120 ÷ 180 րոպեի սահմաններում, հեղինակը առաջ է քաշել այն հիպոթեզը, որ նրանց սահքի հարաւան գիմադրութիւնը ($q_{\text{ստ}}$) հալստար է $q_{\text{ստ}}$:

Տարբեր բնահողերի երկփորձի նմուշները հարաւան հաստատուն $q = 0.8 - 0.9 q_{\text{ստ}}$ շոշափող լարումների տակ փորձարկելու հետեւանքով պարզված է, որ սողքը չի բերում նմուշների խզմանը (քայքայմանը): Ընդհակառակը, սողքն օժանդակում է նրանց սահքի գիմադրութիւնն աճին, $q_{\text{ստ}}$ -ի համեմատութիւնը:

Վերը նշվածի հիման վրա հեղինակը եկել է այն եզրակացութիւնը, որ կալալին բնահողերի սահքի հարաւան գիմադրութիւնն հարցում մինչև օրս եղած հակասութիւնների պատճառ են հանդիսացել տարբեր լարորատորիւնում $q_{\text{ստ}}$ որոշման համար կիրառուող տարբեր եղանակները: Սողքի հարաւան գիմադրութիւնը որոշելու համար հեղինակը առաջարկում է օգտուել նմուշների փորձարկման ստանդարտ եղանակից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Casagrande A., Wilson S. Effect of rate of loading on the strength of clays and shales at constant water content. *Geotechnique*, No. 3, 1961.
2. Голодштейн М. Н. и Бабицкая С. С. Методика определения длительной прочности грунтов. «Основания, фундаменты и механика грунтов», № 3, 1961.
3. Haefeli R. Kriechproblem in Boden, Schnee und Eis. *Wasser und Energiewirtschaftl. Ann.*, 46, No. 3, Zürich, 1954.
4. Seed H. B., McNeil R. and Deguekin J. Increased resistance to deformation of clay caused by repeated loading. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Div.*, 84, N SM 2, 1958.
5. Месчян С. Р. О влиянии длительности испытания на сопротивление грунтов сдвигу. *ДАН АрмССР*, 32, № 1, 1961.
6. Месчян С. Р. К вопросу о длительном сопротивлении глинистых грунтов сдвигу. *Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук*, 15, № 2, 1962.
7. Работнов Ю. Н. Сопротивление материалов. *Физматгиз*, М., 1962.

5. Месчан С. Р. Кольцевой прибор для изучения ползучести и длительного сопротивления сдвигу глинистых грунтов методом кручения. Известия АН Арм ССР, серия физ.-мат. наук, 15, 1962.
9. Руководство по лабораторному определению физико-механических характеристик грунтов при устройстве оснований сооружений. Госстройиздат, М., 1956.
10. Bjerrum J., Simons N. and Torblao S. The effect of time on the shear strength of a soil marine clay. Proc. Brussels Conf. on Earth Press Problems, Brussels, 1, 1958, p. 148.
11. Козан Я. Л. и Чухрова А. Н. Влияние условий изменения напряженного состояния глинистых грунтов при определении сопротивления сдвигу. ВНИИ транспортного строительства. Сообщение № 153, М., 1959.
12. Гольдштейн М. Н. Ползучесть и длительная прочность глинистых пород. Труды Совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения, том II. Изд. АН СССР, М., 1957.
13. Вялов С. С. Реологические свойства и несущая способность мерзлых грунтов. Изд. АН СССР, М., 1959.
14. Могилевская С. Е. Вопросы ползучести и длительной прочности глинистых грунтов в связи с давлением на подпорные стенки. В кн. «Исследование физико-мех. свойств горных пород применительно к задачам управления горным давлением». Изд. АН СССР, М., 1951.
15. Денисов Н. Я. О природе деформации глинистых пород. Изд. Минречфлота, М., 1951.
16. Trollope D. and Chan C. Soil structure and step-strain phenomenon. Proc. of the Amer. Soc. Civ. Engs., 86, pt. 1, N SM 2, 1960.
17. Жихович В. В. О ползучести, стандартной и длительной прочности плотных геологических глин. «Основания, фундаменты и механика грунтов», № 4, 1963.
18. Вялов С. С. и Скибицкий А. М. Реологические процессы в мерзлых и плотных грунтах. Материалы к IV международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. Изд. АН СССР, М., 1947.
19. Маслов Н. Н. Прикладная механика грунтов. Машстройиздат, М.-Л., 1949.
20. Флорин В. А. Основы механики грунтов, том II. Госстройиздат, Л.-М., 1961.
21. Ребиндер П. А. Структурно-механические свойства глинистых пород и современные представления физико-химии коллоидов. Труды Совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения, т. I. Изд. АН СССР, М., 1956.
22. Денисов Н. Я. О длительной прочности глинистых грунтов. Второй Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике. Аннотация докладов, М., 1964.