Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLVIII, вып. 1, 1963 г.

УДК 628.83.001.5

О ВЛИЯНИИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИСПЫТАНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Р. Э. Дашко

В глинистых породах под действием определенного сдвигающего напряжения τ развиваются во времени деформации ползучести. При значениях сопротивления сдвигу τ, меньших некоторой величины τ_∞, деформации ползучести носят затухающий характер [1, 2]. При превышении τ_∞ деформации ползучести не затухают, причем в пластичных или мерзлых глинистых породах развитие их во времени приводит к разрушению пород [1]. Чем больше величина сдвигающего напряжения, тем раньше разрушается глинистая порода.

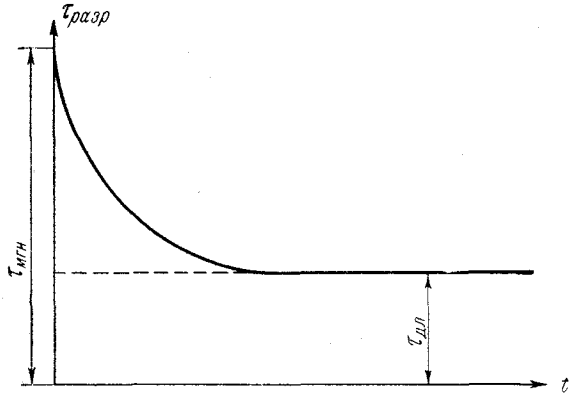


Рис. 1. Изменение прочности пород во времени по С. С. Вялову [1] и М. Н. Гольдштейну [2]

Начальное значение $\tau_{мгн}$ на графике рис. 1 соответствует величине разрушения при бесконечно быстром приложении нагрузки. Величину сопротивления сдвигу τ_∞ называют длительной [2] или временной [1] прочностью глинистых пород. Иначе говоря, прочность породы при действии сдвигающего напряжения τ_∞, равного $\tau_{дл}$ гарантирована на неопределенно длительный срок.

Экспериментальными исследованиями последних лет возможность существования длительной прочности глинистых пород ставится под сомнение [3, 4, 5]. В ряде опытов С. Р. Месчана деформации ползучести при τ, равном 0,7; 0,8 и 0,9 от разрушающего сопротивления сдвигу $\tau_{разр}$, носили затухающий характер [5]. При этом прочность пород в процессе длительного воздействия сдвигающего напряжения повысилась относительно первоначальной. С. Р. Месчан исследовал также влияние длительности испытания на сопротивление сдвигу глинистых пород. Испытания проводились на искусственно приготовленных образцах [4].

В настоящей статье освещены результаты экспериментов на образцах глинистых пород, находящихся в пластичном состоянии. Целью экспериментов являлось определение влияния продолжительности опыта

на величину сопротивления сдвигу. Первая серия испытаний проводилась на образцах естественного сложения (ленточных глинах Ленинграда), вторая — на искусственно приготовленных.

Как известно, характер деформируемости глинистых пород во времени определяется в основном состоянием их плотности — влажности и, следовательно, консистенцией. Для глин, находящихся в твердом и полутвердом состоянии, характер разрушения обычно является хрупким. Разрушение их происходит при накоплении определенной критической деформации сдвига по типу скола. Определение величины критического (разрушающего) касательного напряжения в таком случае незатруднительно. Деформирование же пластичных глинистых пород носит характер пластического течения, скорость которого при равномерном приложении ступеней сдвигающей нагрузки является в большинстве случаев величиной постоянной.

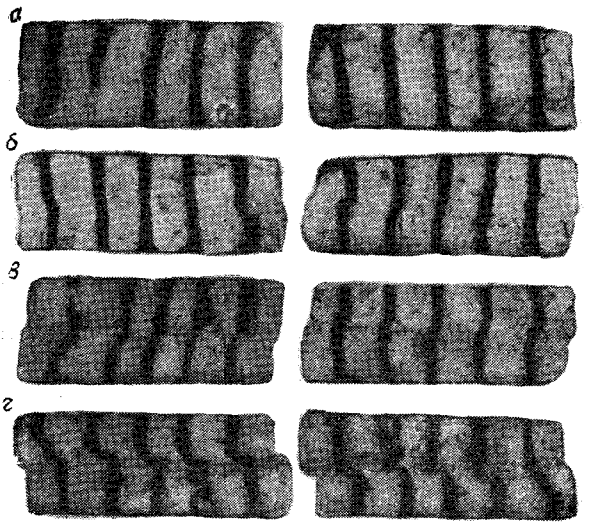


Рис. 2. Положение маячков при различных величинах деформации сдвига, *мм*:
а — 2; *б* — 3; *в* — 4; *г* — 5

В практике инженерно-геологических лабораторий нет общепринятого метода определения *критерия сдвига* для пластичных глинистых пород. М. Н. Гольдштейн предлагает, например, считать сдвиг наступившим в момент развития незатухающей деформации сдвига [2]. Основной недостаток такой методики — в трудности определения характера (вида) деформации сдвига. Для определения затухающего или незатухающего характера деформации необходимы длительные испытания. Некоторые исследователи [6, 7, 8] предлагают устанавливать значение максимального сопротивления сдвигу по величине деформации сдвига. При этом В. Д. Ломтадзе считает сдвиг закончившимся, когда общая деформация превышает 2 *мм*, А. А. Ничипорович — при 3—4 *мм* [7], Е. Г. Чаповский — при 5 *мм*. Данных, подтверждающих такие критерии, эти авторы не приводят.

Для обоснования величины предельной деформаци сдвига нами проделаны экспериментальные работы в срезном приборе конструкции Гидропроекта с рабочим кольцом площадью 20 *см*^{2}. В образцы пластичных глин вставлялись маячки из пластилина. Один из маячков располагался в центре образца, остальные — на равном расстоянии друг от друга в осевой плоскости. Направление сдвига совпадало с направлением плоскости, где помещались маячки. Опыт производился до определенной величины деформации сдвига: 2, 3, 4 и 5 *мм*. Затем образец разрезался по фиксированной плоскости и фотографировался (рис. 2).

Как видно на фотографиях рис. 2, величина деформации по всей плоскости сдвига неодинакова. Это обусловлено неоднородностью напряженного состояния испытуемого образца при различных подвижках прибора. Так, при деформации 2 *мм* (рис. 2, *а*) фиксируется лишь перекос образца, при деформации 3 *мм* (рис. 2, *б*) разрушение захватывает лишь краевые части, при этом деформации сдвига не распространяются

на центральную область образца. Дальнейшая деформация связана с более однородным распределением напряжения по всей плоскости сдвига, что находит выражение в расположении пластилиновых маячков (рис. 2, *в*). При деформации 5 *мм* наблюдается чистый сдвиг по всей плоскости (рис. 2, *г*).

Таким образом, в качестве максимальной деформации сдвига можно рекомендовать величину, равную 3,5—4 *мм*. Это значение деформации принято при дальнейших работах в качестве *критерия среза* для испытуемых пород. Рекомендуемая величина деформации характеризует собой начало потенциального разрушения по всей плоскости сдвига.

Установленное значение максимальной деформации сдвига позволило сравнить полученные результаты сопротивления сдвигу пластичных глинистых пород при различной скорости приложения нагрузки и, следовательно, при неодинаковой продолжительности опыта, и выяснить влияние продолжительности действия нагрузки на значение сопротивления сдвигу глинистых пород.

Как указано выше, испытания производились на ленточных глинах Ленинграда и искусственно приготовленных образцах (табл. 1). Сопро-

Таблица 1

Гранулометрический состав и физические свойства испытуемых глин

Порода	Содержание фракций, %			Естественная влажность, %	Объемный вес, $г/см^3$	Удельный вес, $г/см^3$	Предел пластичности	Предел текучести	Число пластичности
	песчаных	пылеватых	глинистых						
Суглинок тяжелый пылеватый	29	50	21	22,5	2,07	2,69	17	23	6
Глина пылеватая . . .	7	57	36	18,7	2,17	2,73	18	26	8

тивление сдвигу определялось при ступенчатом приложении сдвигающей нагрузки через интервалы: 1, 3, 7, 15 *мин*, 1, 2, 3 *ч*. Несколько опытов проведено с интервалом 24 *ч*. Испытания проводились при условии сохранения постоянной плотности — влажности образца в течение опыта. Для каждой разности глинистой породы определялась так называемая мгновенная прочность, которая соответствовала сопротивлению сдвига при условно мгновенной скорости приложения нагрузки. При такой скорости загружения деформации ползучести не успевают развиваться и сдвиг происходит по типу хрупкого разрушения. Развитие деформации ползучести при увеличении интервала загружения, безусловно, оказывает влияние на прочность глинистых пород, причем это влияние предопределяется природой прочности глинистых пород.

В настоящей работе мы ограничились лишь исследованием пластичных глинистых пород, где основную роль в создании прочности играют молекулярные силы. Значение ионных (цементационных) сил у искусственно приготовленных образцов может быть сведено до нуля, а в ленточных отложениях оно максимально.

Как видно из рис. 3 и табл. 2, прочность глинистых пород снижается при продолжительности опыта, не превышающей двух-трех часов. Дальнейшее увеличение времени воздействия нагрузки приводит к временному постоянству прочности пород, а затем повышению. Причина этого явления кроется в природе внутреннего сопротивления глинистых пород, находящихся в пластичном состоянии. При небольших интервалах между ступенями нагрузки, т. е. при значительных скоростях загружения, деформации развиваются более интенсивно, что влечет за собой лавинное разрушение связей между частицами. Дальнейшее увеличение интервала нагружения изменяет развитие деформаций пол-

зучести. Начальная стадия деформирования, отмеченная значительными скоростями, при достижении определенной, наибольшей для данного напряжения деформации, переходит в стадию затухающей ползучести. При этом скорость деформации падает.

При затухании деформации, наряду с разрушением связей по прошествии некоторого промежутка времени, начинает сказываться способность пластичных глинистых пород к восстановлению нарушенных связей. Эта способность и вызывает наблюдаемое повышение прочности

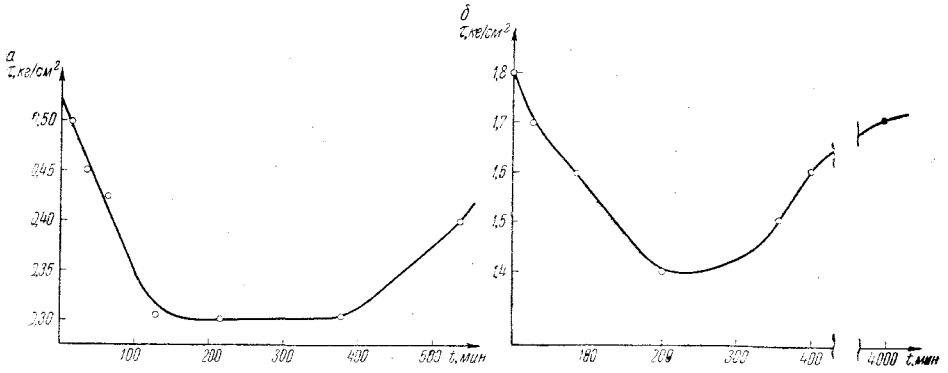


Рис. 3. Изменение прочности пород во времени:
а — тяжелого пылеватого суглинка; *б* — пылеватой глины

пород. Даже при большой степени разрушения первоначального сложения, которая вызывается значительными по величине приложенными касательными напряжениями, сохраняется некоторая (наименьшая) возможность восстановления связей.

Таблица 2

Влияние длительности испытания на величину сопротивления сдвигу

Порода	Интервал между ступенями нагрузки, *мин*	Общая продолжительность опыта, *мин*	Общее сопротивление сдвигу, *кг/см²*	Порода	Интервал между ступенями нагрузки, *мин*	Общая продолжительность опыта, *мин*	Общее сопротивление сдвигу, *кг/см²*
Ступень сдвигающей нагрузки 0,1 *кг/см²*				Ступень сдвигающей нагрузки 0,5 *кг/см²*			
Суглинок тяжелый, пылеватый, серый, пластичный (образцы ленточной глины)		0,5	0,525	Глина пылеватая, пластичная (искусственно приготовленные образцы)		0,5	1,8
	1	18	0,5		3	20	1,7
	7	32	0,45		30	90	1,6
	15	60	0,425		60	200	1,4
	60	120	0,30		120	400	1,6
	120	210	0,30		1440 (сутки)	4000	1,7
	120	380	0,30				
	180	540	0,40				

Как видно на рис. 4, от первых ступеней нагрузки величины деформаций практически совпадают, а последующее нагружение через 2 *ч* вызывает гораздо меньшую деформацию, чем через 1 *ч*. Это явление, как указано выше, можно объяснить повышением прочности пород в результате возможности более длительного срока восстановления нарушенных связей.

И, наконец, конечная ветвь графика $\lambda = f(t)$ указывает на то, что даже в случае действия значительных для данных пород касательных напряжений развитие деформаций не имеет прогрессирующего характера, а сменяется режимом с заметным падением скорости деформации.

Величина предельного сопротивления сдвигу определялась по разработанной в настоящей статье методике — по оптимальному значению деформации среза.

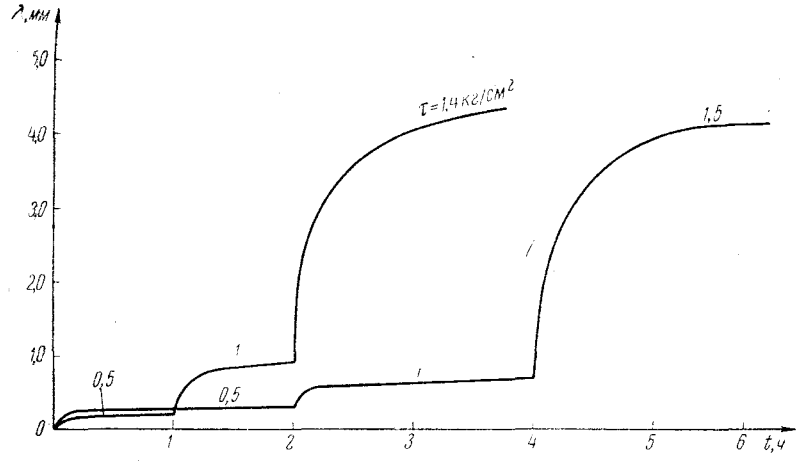


Рис. 4. Развитие деформации λ во времени с интервалом нагружения 1 и 2 *ч*

Выводы

1. Деформации ползучести в пластичных глинистых породах носят всегда затухающий характер при сдвигающих нагрузках меньше мгновенного сопротивления сдвигу.

В пластичных глинистых породах наряду с процессами разрушения всегда идет обратный ему процесс — восстановление связей.

2. Изменение прочности пластичных глинистых пород во времени не подчиняется закономерности, указанной на рис. 1. Уменьшение прочности пород по сравнению со значением мгновенной прочности происходит лишь при продолжительности опыта 2—3 *ч*. Дальнейшее увеличение длительности испытания приводит к постепенному повышению общего сопротивления сдвигу пород. Такие данные вполне согласуются с результатами испытаний С. Р. Месчана [4, 5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Вялов С. С., Скибицкий А. М. Геологические процессы в грунтах. Госстройиздат, 1961.
2. Гольдштейн М. Н. Ползучесть и длительная прочность глинистых пород. Тр. совещания по инженерно-геологическим свойствам пород и методам их изучения. Изд-во АН СССР, 1957.
3. Коган Я. Л., Иоселевич В. А. Прочность и «длительная прочность» глинистых пород. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1961, № 5.
4. Месчан С. Р. О влиянии длительности испытания на сопротивление грунтов сдвигу. ДАН Арм. ССР, 1961, т. XXXII, № 1.
5. Месчан С. Р. К вопросу о длительном сопротивлении глинистых грунтов сдвигу. Изв. АН Арм. ССР, 1962, т. XV, № 2.
6. Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. Госгеолтехиздат, 1952.
7. Ничипорович А. А. Сопротивляемость связных грунтов сдвигу при расчетах гидротехнических сооружений на устойчивость. Стройиздат, 1948.
8. Чаповский Е. Г. Инструкция по определению физико-механических характеристик песчаных и глинистых грунтов. Госгеолиздат, 1958.