

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

С. Р. Месчян

К вопросу о перераспределении напряжений между
скелетом и поровой водой глинистого грунта

В теории уплотнения земляных масс [1] принято было считать, что приложения к водонасыщенному глинистому грунту внешняя нагрузка в момент ее приложения полностью воспринимается поровой водой, и только в результате падения избыточных напоров в поровой воде указанная нагрузка постепенно передается на скелет грунта. В дальнейшем, после введения понятия о ползучести скелета грунта и ее учета при решении задач уплотнения, В. А. Флориным [2] было установлено, что, при конечной водопроницаемости грунта и весьма малой скорости нарастания деформации ползучести скелета, уплотнение происходит без ощутимого повышения давления в воде.

В целях уточнения основных предпосылок теории уплотнения, определения границ ее применимости и выяснения условий передачи внешней нагрузки на поровую воду, выполнен ряд экспериментальных работ по изучению порового давления [3, 4, 5].

В работе [3] показано, что, в результате влияния ползучести скелета, внешняя нагрузка не полностью передается на поровую воду, и чем плотнее грунт, тем меньше доля внешней нагрузки, воспринимаемой поровой водой. В работах [4, 5] (работа [5] была доложена на первом Всесоюзном съезде по теоретической и прикладной механике в Москве, 27 января 1960 г.) исследованы изменения порового давления во-время. Установлено, что в глинистых грунтах, после приложения внешней уплотняющей нагрузки, поровое давление достигает своего максимального значения не сразу, а спустя некоторое время. Время, необходимое для достижения поровым давлением своего наибольшего значения, зависит от плотности грунта; чем плотнее грунт, тем больше это время.

Следует, однако, отметить, что на первом Всесоюзном съезде по теоретической и прикладной механике при обсуждении доклада [5] было выражено сомнение относительно того, что для достижения поровым давлением наибольшего значения необходимо время. Было высказано мнение, что полученный экспериментальный результат является следствием трения образцов о стенки грунтовых колец (были испытаны образцы диаметром 100 и высотой 80 мм).

В целях изучения качественной картины перераспределения напряжений между поровой водой и скелетом грунта, а также проверки результатов экспериментов, приведенных в работах [4, 5], мы воспользовались результатами выполненных нами экспериментов по исследованию влияния высоты образцов на деформативные свойства связных водонасыщенных грунтов [6, 7].

В указанных работах [6, 7] было показано, что процесс деформирования связных водонасыщенных грунтов обусловлен двумя факторами: явлением фильтрации поровой воды и ползучестью скелета грунта (показатель консолидации n) и, что чем плотнее грунт, тем меньше продолжительность влияния явления фильтрации. При этом показатели консолидации были определены для произвольно взятых значений деформаций с учетом длительности их деформирования при высоте образцов 20 и 60 мм.

Если при помощи показателя n можно довольно просто определить границы и продолжительность влияния указанных выше факторов (при $n=0$ грунт деформируется длительно от ползучести скелета; когда $n=2$ —от явления фильтрации; когда $0 < n < 2$ —от совместного действия обоих факторов [10]), то при ее помощи можно проследить и за ходом перераспределения напряжений между поровой водой и скелетом грунта. Если окажется, что в самом начале загрузки $n = n_{\max}$, то доля внешней нагрузки, передаваемая на поровую воду, наибольшая в момент ее приложения, в противном случае поровое давление достигает наибольшего значения через некоторый промежуток времени. Разумеется, таким способом мы сумеем изучить качественную сторону явления.

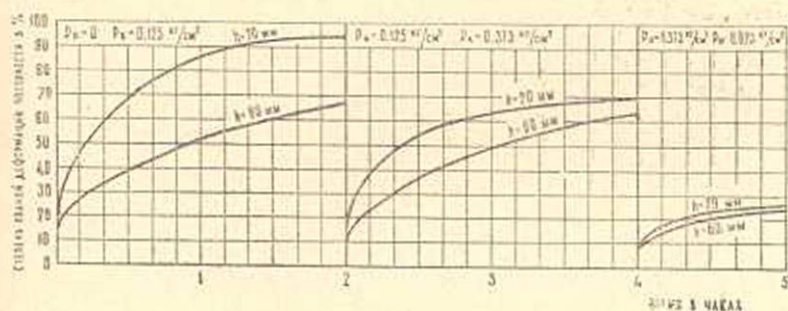
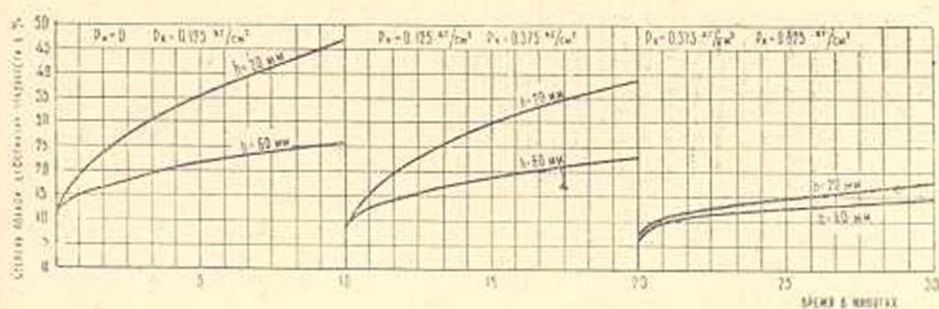
Изучение качественной картины перераспределения напряжений между скелетом и поровой водой указанной методикой целесообразно потому, что она очень проста и надежна, т. к. субъективные факторы, которые могут влиять на результаты экспериментов, доведены до минимума. Правда, в этом случае перераспределение напряжений мы не можем оценить количественно.

На примере исследования трех грунтов, проследим за изменением показателя консолидации n с самого начала загрузки образцов до достижения им наибольшего значения.

Данные об основных физических свойствах грунтов приведены в таблице 1, а на графиках фиг. 1, 2 и 3 приведены кривые ползучести грунтов для образцов толщиной 20 и 60 мм, диаметром 70 и 210 мм соответственно. Опыты проводились при одностороннем движении отжимаемой воды (снизу вверх).

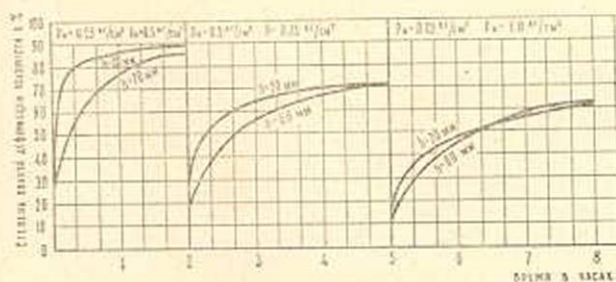
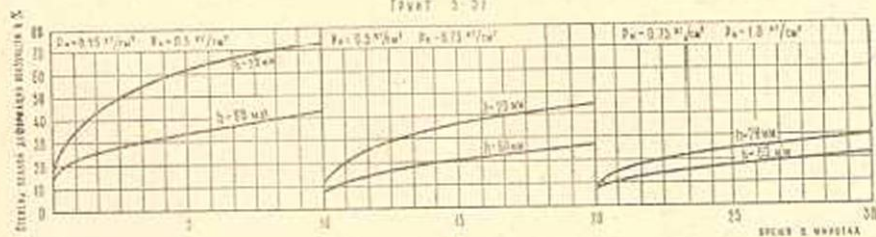
На приведенных графиках по оси абсцисс отложено время, а по оси ординат — степень ползучести $l(t)/l$ в $\%$, где $l(t)$ — деформация ползучести в момент времени t , l — полная конечная деформация.

График 7-57



Фиг. 1.

График 5-57



Фиг. 2.

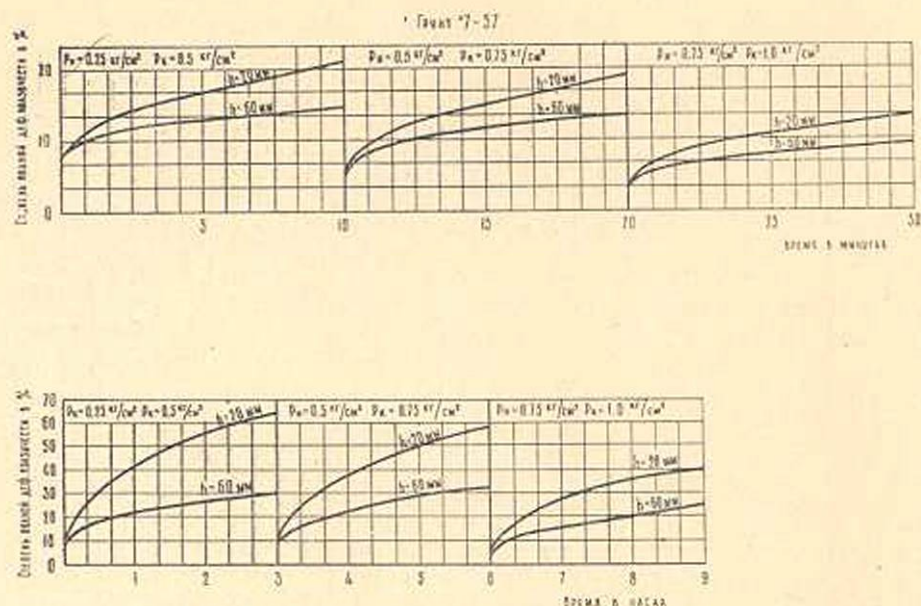


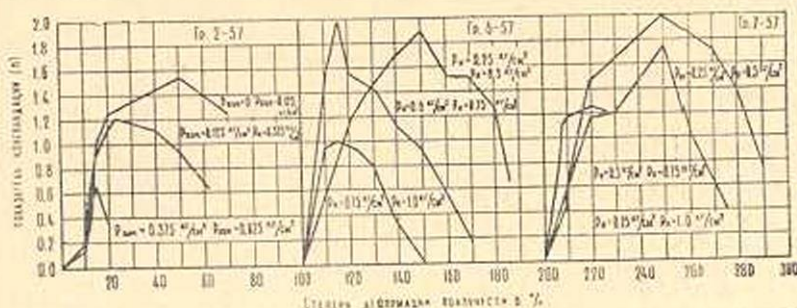
Таблица 1

Лаборат. №№ грунтов	Удельн. вес g/cm^3	Объемн. вес g/cm^3	Влажность $\omega, \%$	Пределы пластичности		
				Граница текучести	Граница пластичности	Число пла- стичности
2-57	2,66	1,81	34,4	31,3	18,6	12,7
5-57	2,59	1,59	56,9	58,1	32,2	25,9
7-57	2,63	1,56	61,45	64,4	30,5	33,9

Следует отметить, что под *ползучестью грунта* [8], в отличие от *ползучести скелета* [2], понимаем деформацию грунта за данной толщины во времени, которая протекает при совместном действии двух факторов: фактора фильтрации и фактора ползучести скелета. Ясно, что ползучесть грунта зависит от высоты образца, и при его небольшом значении (ввиду незначительности роли фактора фильтрации) ползучесть грунта равна ползучести скелета.

На основании приведенных на фиг. 1, 2 и 3 графиков кривых ползучести, вычислены значения показателя консолидации n для ряда значений $I(t)/I$ (таблицы 2, 3 и 4) указанных выше грунтов, а на фиг. 4 приведены кривые изменяемости показателя консолидации в зависимости от степени деформации $I(t)/I$.

Анализируя данные, приведенные в таблицах 2, 3 и 4, а также графики кривых изменяемости показателя консолидации, нетрудно заметить, что для достижения поровым давлением наибольшего значения необходимо определенное время. Чем плотнее грунт, тем меньше наибольшее значение показателя консолидации, следовательно,



Фиг. 4.

меньше величина порового давления и больше влияние ползучести скелета на процесс деформирования.

Необходимо обратить внимание и на то, что в ряде случаев в самом начале загрузки процесс уплотнения протекает в основном за счет ползучести скелета, т. е. без повышения давления в воде ($p_u = 0$).

Указанное выше поведение грунтов при уплотнении можно объяснить наличием структурных связей между частицами и агрегатами грунта: слабых—в начале уплотнения, более прочных—в конце уплотнения [9]. Время, необходимое на передачу внешней нагрузки на поровую воду, требуется для разрушения, или преодоления сопротивления процессу деформирования, указанных связей. В отношении продолжительности нарастания порового давления до максимума следует отметить, что она зависит от структурной прочности грунта и режима загрузки.

В зависимости от режима загрузки может случиться так, что один и тот же грунт в одном случае будет деформироваться без ощутимого повышения давления в воде, а в другом—с повышением. Причем, в зависимости от величины уплотняющей нагрузки и структурной прочности грунта, поровое давление может достичь своего максимума как сейчас же после приложения нагрузки, так и спустя некоторое время.

В первом случае величина нагрузки должна быть такой, при которой разрушение связей практически произойдет „мгновенно“, а во втором случае для разрушения или же преодоления сопротивления, оказываемого этими связями процессу деформирования, нужно время.

Если бы в наших экспериментах величины ступеней нагрузок были больше, чем те нагрузки, под которыми испытывались образцы, то, в отдельных случаях, повышение порового давления до максимума протекало бы настолько быстро, что этот процесс можно было бы считать „мгновенным“.

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить, что в зависимости от соотношения структурной прочности грунта и величины уплотняющей нагрузки, уплотнение глинистых водонасыщенных грунтов может протекать как без заметного повышения давления в поровой воде, так и с повышением давления в ней. Причем продолжительность

Таблица 2

$I(t)/I$ в %	Время деформирования		n
	Высота образца $h=20$ мм	Высота образца $h=6$ мм	
Грунт № 2			
P начальн. = 0 P конечн. = 0,125 кг/см ²			
12	5°	7°	0,301
14	13°	30°	0,76
15	18°	55°	1,01
20	1°	4°	1,26
25	2°	8,5°	1,30
50	10,5°	58°	1,55
66	28°	118°	1,30
P начальн. = 0,125 кг/см ² P конечн. = 0,375 кг/см ²			
10	5°	5,6°	0,16
12,5	22°	44°	0,63
15	47°	110°	0,88
20	105°	360°	1,12
23,5	160°	600°	1,20
40	11°	37°	1,11
50	22°	61°	0,92
64	60°	120°	0,63
P начальн. = 0,375 кг/см ² P конечн. = 0,625 кг/см ²			
8	10°	10°	0
9	20°	20°	0
10	30°	37°	0,188
12,5	2°	3,5°	0,51
15	5°	10°	0,63
20	15°	22°	0,34

Таблица 3

$I(t)/I$ в %	Время деформирования		n
	Высота образца $h=20$ мм	Высота образца $h=60$ мм	
Грунт № 5			
P начальн. = 0,25 кг/см ²			
P конечн. = 0,5 кг/см ²			
20	7°	25°	1,16
25	17°	75°	1,34
30	30°	150°	1,46
40	90°	600°	1,72
50	2'	16'	1,9
60	5'	26'	1,5
70	8'	42'	1,5
80	18'	72'	1,26
86	60'	120'	0,63
P начальн. = 0,5 кг/см ²			
P конечн. = 0,75 кг/см ²			
11	5°	30°	1,63
15	10°	90°	2,0
20	45°	250°	1,55
30	2,4'	12'	1,42
40	7'	24'	1,12
50	16'	44'	0,92
60	40'	76'	0,58
70	118'	146'	0,188
P начальн. = 0,75 кг/см ²			
P конечн. = 1,0 кг/см ²			
9	5°	5°	0
10	7°	20°	0,95
15	50°	165°	1,08
23	265°	600°	0,93
30	9'	19'	0,79
40	29'	40'	0,29
45	48'	55'	0,12
50	72'	76'	0,045
54	1°36'	1°36'	0

Таблица 4

$t(t)/t$ в %	Время деформирования		n
	Высота образца $h=20$ мм	Высота образца $h=60$ мм	
P начальн. = 0,25 кг/см ² P конечн. = 0,5 кг/см ²			
8	5°	5°	0
10	25°	45°	0,535
15	190°	600°	1,04
30	26°	158°	1,64
50	1,8 ^h	17,4 ^h	2,0
70	5,6 ^h	37,2 ^h	1,72
80	12 ^h	55,2 ^h	1,38
90	42 ^h	96 ^h	0,75
P начальн. = 0,5 кг/см ² P конечн. = 0,75 кг/см ²			
6,5	5°	5°	0
9	40°	65°	0,44
10	65°	125°	0,395
20	11°	40°	1,17
30	33°	126°	1,21
50	1,2 ^h	8,4 ^h	1,77
60	4,2 ^h	14,4 ^h	1,08
75	18 ^h	28,8 ^h	0,42
P начальн. = 0,75 кг/см ² P конечн. = 1,0 кг/см ²			
4	5°	5°	0
6	30°	70°	0,765
8	93°	315°	1,11
10	3,3°	12°	1,17
15	13°	48°	1,19
20	26°	104°	1,26
25	46°	180°	1,24

времени, необходимого для достижения поровым давлением наибольшего значения, обусловлена структурной прочностью и ползучестью скелета.

Ս. Ռ. ՄԼՅԱՆ

ԿԱՎԱՅԻՆ ԳՐՈՒՆՏԻ ԿՄԱԽՔԻ ԵՎ ԾԱԿՈՏԿԵՆԱՅԻՆ ՋՐԻ ՄԻՋԵՎ
ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՎԵՐԱԲԱՇԽՄԱՆ ՀԱՐՅԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Օգտագործելով տարբեր չափեր ունեցող կավային գրունտների նմուշների սողքի ուսումնասիրության արդյունքները սեղմման դեպքում, ինչպես և օգտվելով կոնսոլիդացիայի ցուցանիշից, պարզված է գրունտի կմախքի և ծակոտկենային ջրի միջև լարումների վերաբաշխման որակական կողմը:

Յուլց է արված, որ հակառակ գրունտների ֆիլտրացիոն կոնսոլիդացիայի տեսության, ծակոտկենային ջրում հափելիալ ճնշումը արտաքին բևռի ազդեցությունից իր ամենամեծ արժեքն է ստանում ոչ թե միանգամից, այլ ժամանակի ընթացքում: Պարզված է, որ հիշյալ ժամանակի տեղաթիվներ կախված է ինչպես արտաքին բևռի մեծությունից, այնպես էլ գրունտի կմախքի կառուցվածքային ամրությունից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Флорин В. А. Теория уплотнения земляных масс. Стройиздат, М., 1948.
2. Флорин В. А. Одномерная задача уплотнения сжимаемой пористой ползучей земляной среды. Известия АН СССР, ОТН*, № 6, 1953.
3. Роза С. А. и Котов А. И. О явлениях ползучести скелета в процессе консолидации. Гид. стр.-во*, № 5, 1956.
4. Павлюнский В. М. Экспериментальные исследования порового давления в глинистых грунтах. Инф. мат. № 4, НИИ ВОДГЕО*, М., 1959.
5. Счадин В. П. О проявлении свойств ползучести при компрессионных испытаниях грунтов. ДАН АрмССР*, 31, № 5, 1960.
6. Месчян С. Р. О методике экспериментального исследования ползучести скелета связных грунтов. ДАН АрмССР*, 26, № 4, 1958.
7. Месчян С. Р. Исследование влияния высоты образца на деформативные свойства связных водонасыщенных грунтов. Известия АН АрмССР, серия физ. мат. наук*, 12, № 3, 1959.
8. Месчян С. Р. К вопросу о ползучести связных грунтов. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат., естеств. и тех. наук*, 7, № 6, 1954.
9. Денисов Н. Я. О природе деформации глинистых пород. Изд. Минрезфлота, М., 1951.
10. Маслов Н. Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве. Госэнергоиздат, М.—Л., 1955.