

С. Р. Месчян

О влиянии скорости загрузки на деформативные свойства связных грунтов

Исследованиями К. Лангера [1] установлено, что уплотнение грунтов ненарушенной структуры в компрессионных приборах в значительной степени зависит от скорости загрузки образцов. Н. Я. Денисов [2] указывает на влияние темпов повышения давления на уплотняемость глинистых пласт. О влиянии скорости загрузки на компрессионные свойства грунтов указывает и М. Н. Гольдштейн [3].

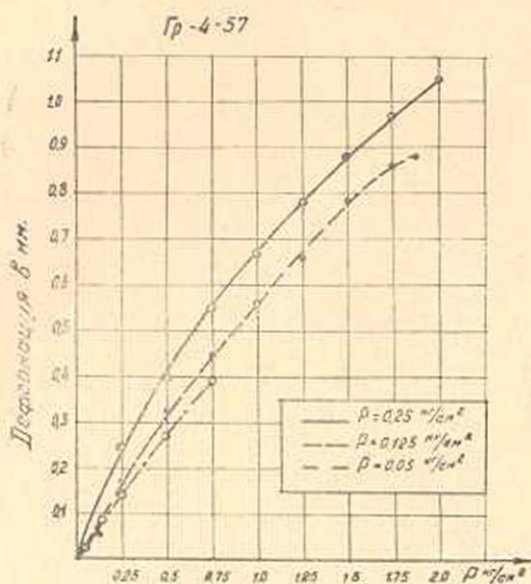
В целях выяснения вопроса о влиянии скорости загрузки на деформативные свойства связных грунтов нарушенной структуры, нами исследовано влияние указанного фактора на величину полной деформации, деформации ползучести и на изменяемость модуля мгновенной деформации при ступенчатом нагружении образцов в компрессионном приборе. Исследованы также зависимости между мгновенными деформациями и напряжениями при малых значениях последних и влияние указанного выше фактора на „старение“ [4] грунтов при уплотнении их.

Рассмотрим результаты экспериментального исследования влияния скоростей загрузки на величину полной деформации образцов при их нагружении ступенями по 0.25, 0.125 и 0.05 кг/см² в сутки. Образцы испытывались в течение 15 дней с доведением внешних уплотняющих нагрузок до 3.75, 1.875 и 0.75 кг/см² соответственно.

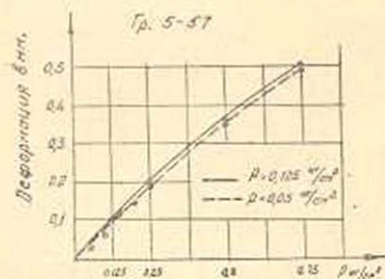
Испытания образцов проводились в приборах нашей конструкции [4], при высоте 20 мм, диаметре 70 мм. Для исключения влияния неровностей поверхности образцов, все образцы предварительно уплотнялись в течение одних суток нагрузками 0.25 кг/см². Учитывая то обстоятельство, что приращение деформации от предварительно уплотняющей нагрузки после первых суток загрузки было незначительным, мы пренебрегли его влиянием на результаты испытания образцов заданными скоростями.

Деформации и напряжения образцов грунта перед испытанием заданными скоростями были приняты нулевыми.

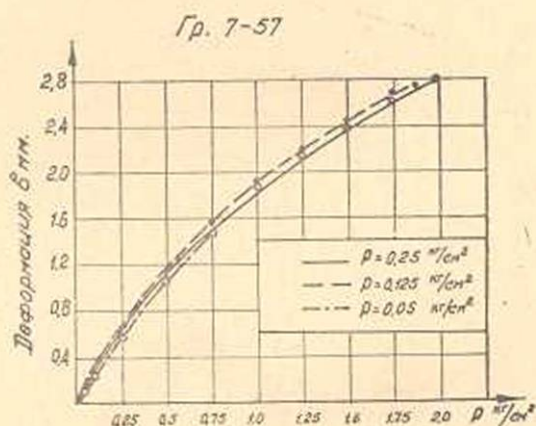
На фиг. 1, 2 и 3 приведены графики кривых зависимостей между напряжениями и полными деформациями образцов трех различных грунтов, данные об основных физических свойствах которых сведены в таблицу 1. На фиг. 4 приведены схемы их загрузки.



Фиг. 1.



Фиг. 2.



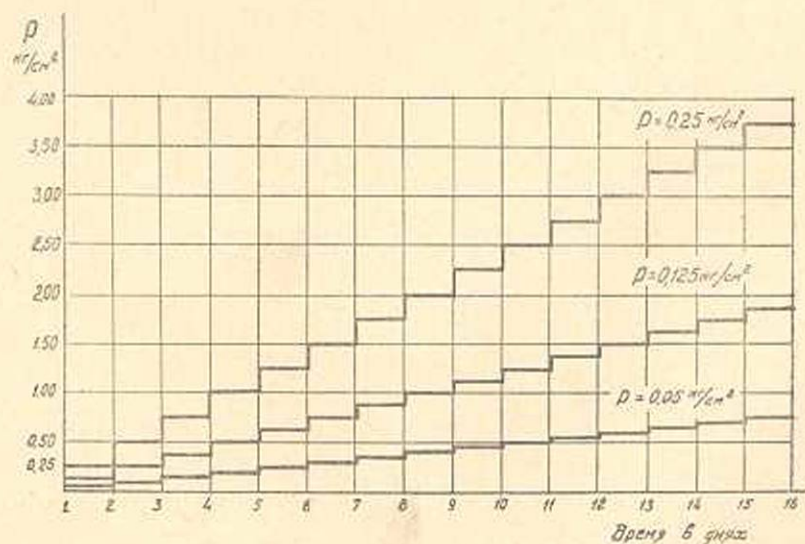
Фиг. 3.

Рассматривая графики кривых зависимостей между напряжениями и полными деформациями (фиг. 2, 3), замечаем, что кривые, определенные испытанием образцов разными скоростями загрузки, отличаются друг от друга незначительно. Следовательно, скорость загрузки практически не влияет на величину деформации образцов грунтов 5—57 и 7—57. Образцы грунта 4—57 ведут себя несколько иначе. Как показывают результаты экспериментов (фиг. 1), в этом случае значения деформации образцов в некоторой степени зависят от скорости их загрузки.

Влияние скорости загрузки на процесс деформирования грунта 4—57 можно объяснить упрочнением грунта за счет возникновения

Таблица 1

№№ опытов	Количество испытаний образ- цов в шт	Удельный вес в г/см ³	Объемный вес в г/см ³	Влажность в %	Пределы пластичности			Величина ступени на- висни, на- гн. в кг/см ²
					граница текуче- сти	граница пла- стич.	число пла- стич.	
Грунт 4—67 (актинская глина)								
4 174—175	2	2,70	1,79	40,8	41,2	23,2	18,0	0,25
4 176—177	2		1,79	40,8				0,125
4 178—179	2		1,80	40,8				0,05
Грунт 5—57 (диатомитовый грунт)								
5 144—146	3	2,59	1,62	56,9	58,10	32,23	25,87	0,125
5 148—149	2		1,61	56,9				0,05
Грунт 7—57 (ново-швейцарская глина)								
7 192—195	2	2,63	1,59	61,45	64,37	30,45	33,92	0,25
1 194—195	2		1,58	61,45				0,125
7 196—197	2		1,58	61,45				0,05



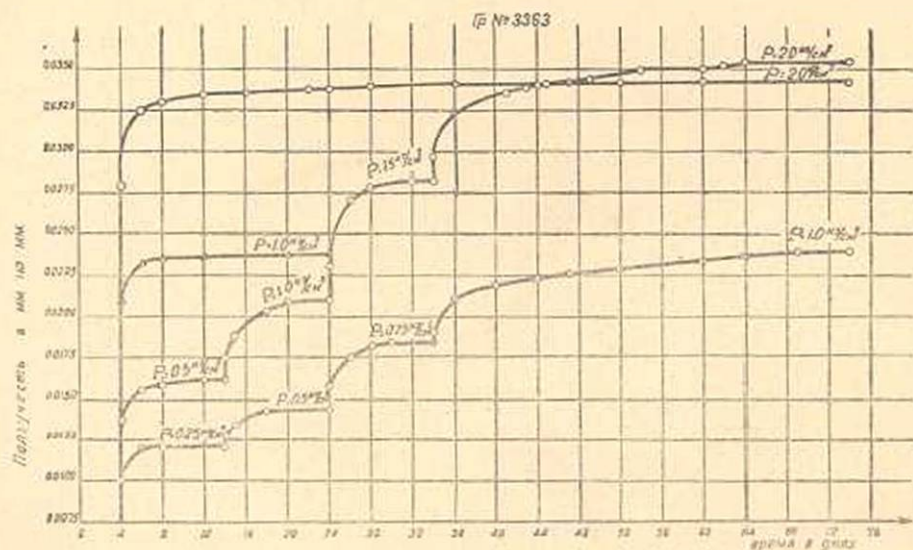
Фиг. 4.

новых (тиксотропных) связей (сцепление упрочнения), которые и оказывают влияние на ход процесса деформирования [5].

Для выяснения влияния тиксотропного упрочнения (сцепление упрочнения) на деформативные свойства связных грунтов нарушенной структуры, воспользуемся графиками ползучести трех других грунтов (таблица 2) нарушенной структуры, определенными* при их нагружении ступенчато приложенными нагрузками по 0.25, 0.5, 1.0 и 2.0 кг/см² через 10–32 суток (фиг. 5, 6, 7).

Таблица 2

Лаб. №№ грунтов	Удельн. вес γ , г/см ³	Объемный вес в испы- тан. образ- цах γ , г/см ³	Влажность испытан. образцов в %	Пределы пластичности		
				граница теку- чести	граница пластич- ности	число пластич- ности
3363	2,69	1,87	34,6	46,8	26,4	20,4
3371	2,69	1,77	43,6	40,4	24,1	16,3
34.4	2,76	1,84	34,7	—	—	—



Фиг. 5.

Из приведенных на фиг. 5, 6 и 7 графиков следует, что между деформациями ползучести образцов, нагруженных разными скоростями, при значении нагрузки 0.5 кг/см², наблюдается расхождение. А именно: деформации ползучести образцов, нагруженных ступенями по 0.25 кг/см², меньше, чем деформации ползучести, которые определя-

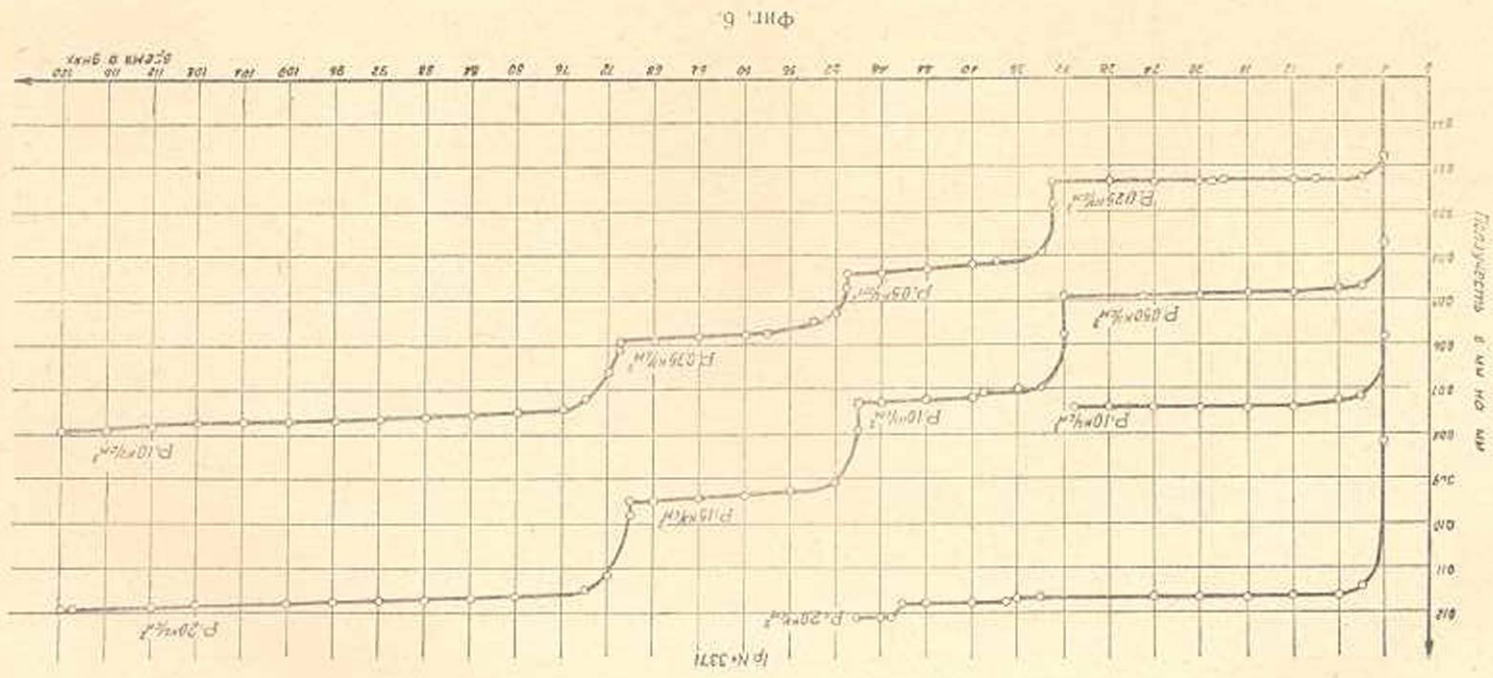
* Опыты выполнены нами в Институте стройматериалов и сооружений АН Армянской ССР в 1955 г.

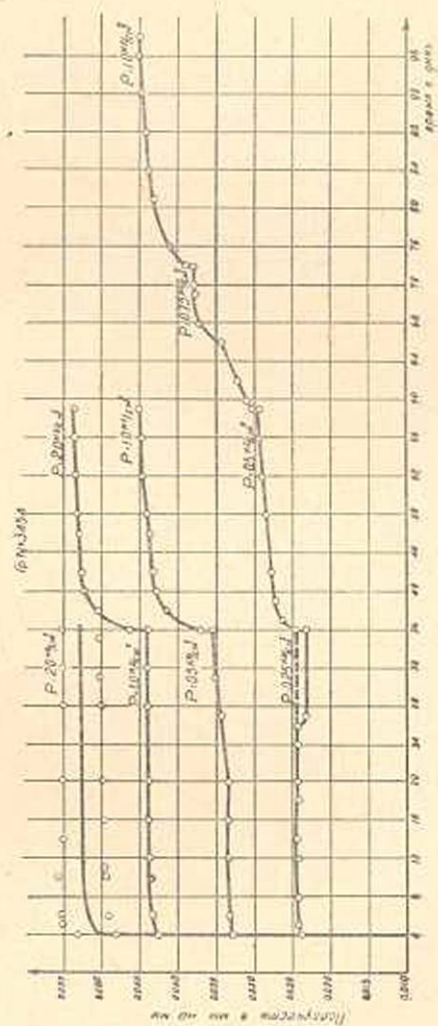
лись приложением только одной ступени нагрузки 0.5 кг/см^2 . Что же касается более высоких значений нагрузок ($1.0\text{--}2.0 \text{ кг/см}^2$), то в этом случае расхождение между указанными деформациями не наблюдается.

Процесс деформирования образцов грунтов 3363, 3371 и 3454, загруженных скоростями $0.25, 0.5, 1.0$ и 2.0 кг/см^2 в $10\text{--}32$ сутки, можно объяснить следующим образом. При загрузке образцов ступенями по 0.25 кг/см^2 и длительном выдерживании их под первыми ступенями нагрузок имеет место упрочнение грунта в результате проявления новых структурных связей (сцепление упрочнения) [5]. Когда на упрочненный образец прикладывается вторая ступень нагрузки в размере 0.25 кг/см^2 , то в этом случае, благодаря наличию структурных связей, последние оказывают определенное влияние на процесс деформирования от данной ступени нагрузки. Влияние структурных связей проявляется в уменьшении деформации ползучести по сравнению с деформациями ползучести образцов, загруженных нагрузками 0.5 кг/см^2 . Поэтому и имеет место указанное выше расхождение между конечными значениями деформации ползучести при одинаковых значениях нагрузок в размере 0.5 кг/см^2 . Однако, при дальнейшем загрузке образцов, после того как напряжения увеличиваются настолько, что они в состоянии разрушить ранее образованные структурные связи, деформации образцов, загруженных разными скоростями, при одинаковых значениях нагрузок становятся равными. При загрузке образцов более высокими значениями ступеней нагрузок (0.5 кг/см^2 и более), ввиду сравнительно небольших значений величин сил структурного сцепления и их разрушения в процессе уплотнения указанными нагрузками, они не могут повлиять на процесс деформирования грунтов и поэтому как величины ступеней нагрузок, так и скорость загрузки их не оказывают влияния на конечные значения деформации [6, 7].

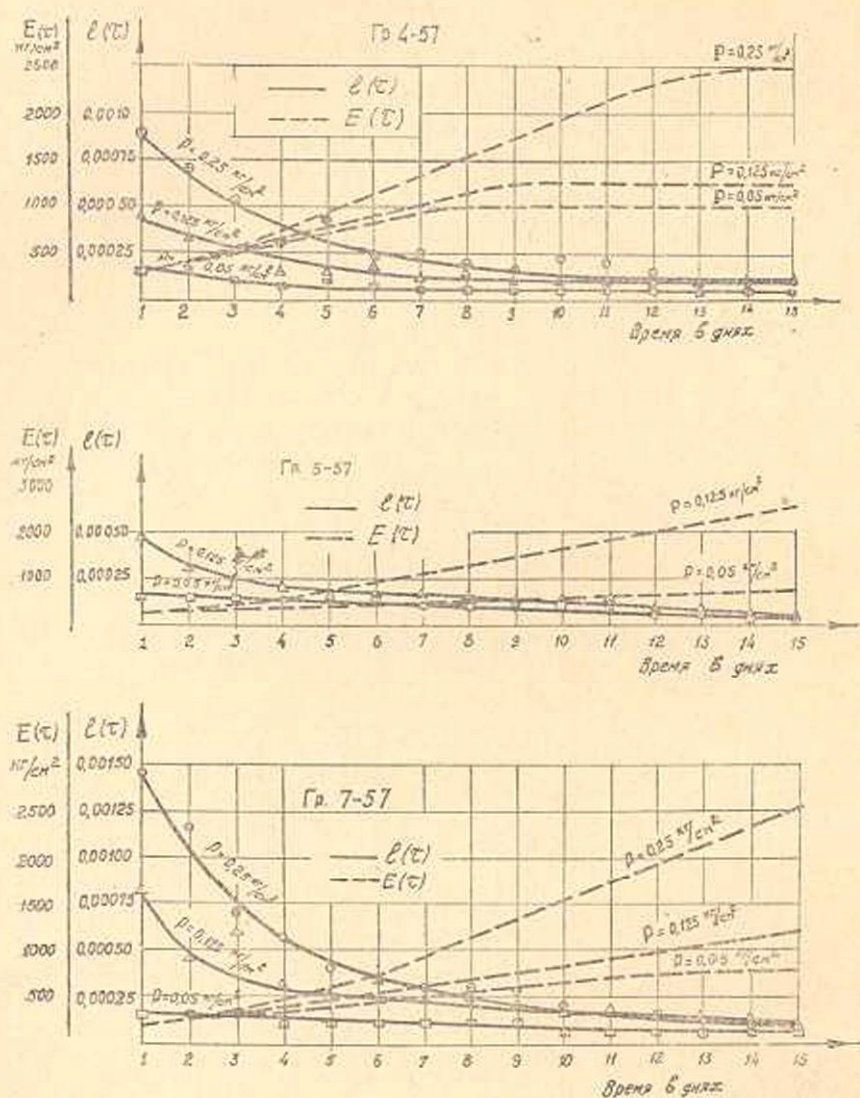
Деформации образцов грунта 4—57 (фиг. 1) протекают в соответствии с вышеизложенными положениями, только с той разницей, что в данном случае не имеет места разрушение структурных связей и поэтому в рассматриваемых интервалах нагрузок значения деформации не выравниваются. Что же касается деформирования образцов гр. 5—57 и 7—57 (фиг. 2 и 3), загруженных по $0.25, 0.125$ и 0.05 кг/см^2 в сутки, то можно сказать, что, ввиду сравнительно небольшой продолжительности действия ступеней нагрузок, большой пористости (влажности) и сравнительно больших скоростей деформирования, они, за счет возникновения структурных связей, не упрочняются настолько, чтобы могли оказывать существенное влияние на ход их деформирования.

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить, что деформативные свойства образцов грунта нарушенной структуры зависят как от величины ступеней нагрузок, продолжительности их действия, так и от способности грунта к тиксотропному упрочнению.





Рассмотрим результаты экспериментального исследования изменяемости мгновенных деформаций и деформаций ползучести образцов грунтов 4—57, 5—57 и 7—57 (таблица 1, фиг. 8, 9) при их уплотнении ступенчато-приложенными нагрузками, со скоростями 0,25, 0,125 и 0,05 кг/см² в сутки. Аналогичные опыты нами проводились и рань-



Фиг. 8.

ше [4], однако, тогда эти исследования были выполнены при нагружении только ступенями 0,25 кг/см², а нагрузки ограничивались четырьмя или пятью ступенями.

Из графиков кривых изменяемости мгновенных деформаций $l(t)$ и деформаций ползучести $\phi(t)$ следует, что, по мере перехода от одной ступени нагрузки к другой, в результате уплотнения образцов

(„старение“). имеет место постепенное уменьшение как мгновенных, так и ползучих деформаций, причем указанные выше деформации и, постепенно уменьшаясь, стремятся к некоторой постоянной величине, а скорость уменьшения этих деформаций падает с уменьшением скоростей их загрузки.

Кривые изменчивости мгновенных деформаций и деформаций ползучести образцов (фиг. 8, 9), независимо от скоростей их загрузки, с достаточной точностью могут быть описаны выражениями (1) и (2) теории упруго ползучего тела [8] (кривые, вычисленные выражениями (1) и (-), показаны пунктирами).

$$l(\tau) = l_0 + \frac{K_0}{\tau}; \quad l(\tau) = l_0 + \frac{K_0}{\tau^2 + D_0}, \quad (1)$$

$$\varepsilon(\tau) = C_0 + \frac{A_1}{\tau}; \quad \varepsilon(\tau) = C_0 + \frac{A_1}{\tau^2 + B_1}, \quad (2)$$

где C_0 , A_1 , B_1 , l_0 , K_0 и D_0 — параметры, τ — „возраст“ материала.

На основании зависимостей (2) изменчивости мгновенных деформаций, вычислены значения модулей мгновенных деформаций по выражению (3)

$$E(\tau) = \frac{P}{l(\tau)}, \quad (3)$$

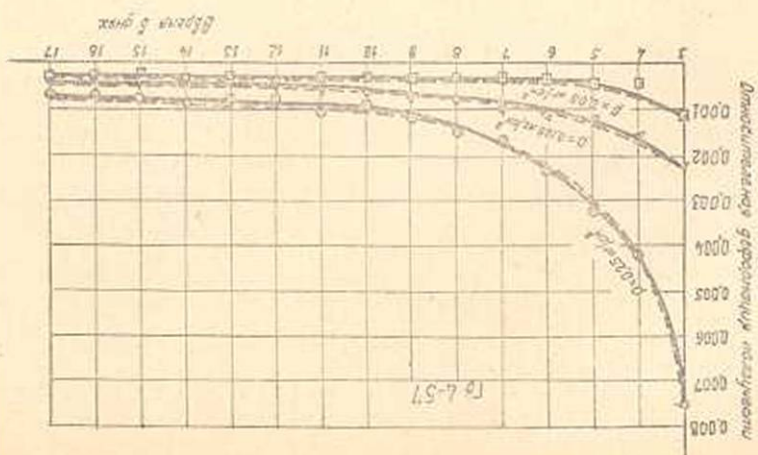
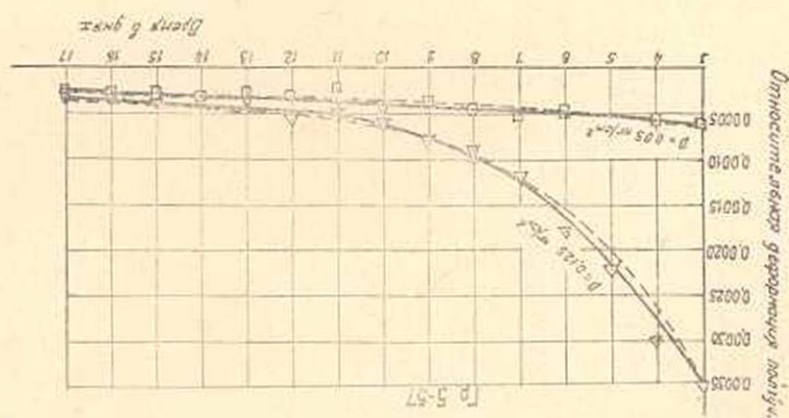
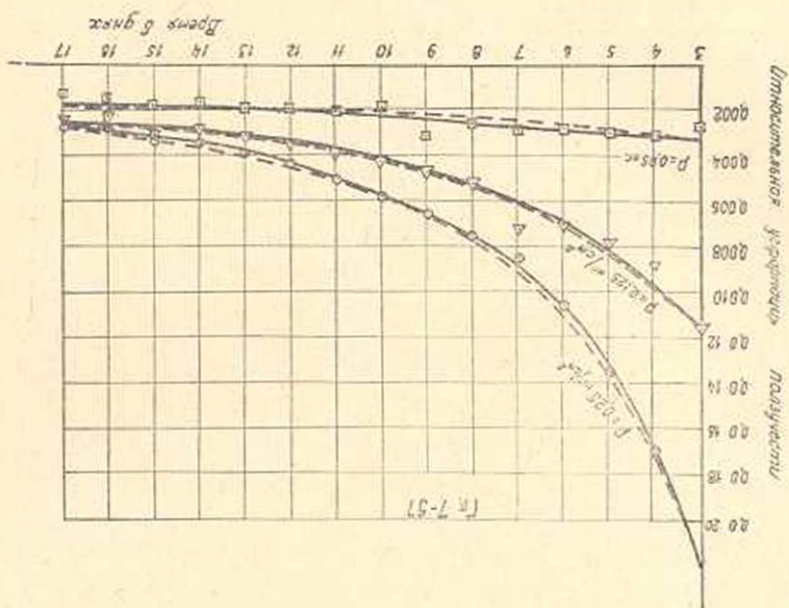
где P — величина ступени нагрузки в кг/см^2 .

Кривые $E(\tau)$, построенные на основании выражения [3], показаны на графиках фиг. 8.

Из графиков, приведенных на фиг. 8, следует, что как мгновенные деформации, так и их модули, по мере уплотнения образцов, стремятся к некоторой постоянной величине. Постоянство значений указанных выше величин наступает тогда, когда приращения деформации уплотнения от приращения внешних нагрузок принимают такие значения, которые не вносят существенных изменений в механические свойства грунтов.

Из приведенных на фиг. 8 кривых $E(\tau)$ образцов грунта 7—57, также следует, что при одинаковых значениях общих деформаций, наблюдается увеличение модулей мгновенных деформаций по мере уменьшения величин ступеней нагрузок. Причем, если значения модулей мгновенных деформаций определенных приложением ступеней 0.25 и 0.125 кг/см^2 отличаются друг от друга в порядке 10%, то в случае испытания образцов нагрузками 0.05 кг/см^2 , расхождение между $E(\tau)$ доходит до 25%. Расхождение в значениях модулей мгновенных деформаций определенных разными значениями ступеней нагрузок, можно объяснить как точностью измерения мгновенных деформаций (0.001 мм), так и точностью их определения. Дело в том, что при сравнительно больших скоростях деформирования образцов, при приложении больших значений ступеней нагрузок (0.25, 0.125 кг/см^2), к

Фиг. 9.



значениям истинных величин мгновенных деформаций в некоторой степени суммируются и деформации ползучести. Конечно, указанное обстоятельство зависит и от точности описания кривых $I(\varepsilon)$.

Аналогичное явление, только в значительно меньшей степени наблюдается и при исследовании образцов гр. 4-57 и 5-57 (фиг. 8).

Наконец, рассмотрим результаты экспериментального определения зависимости между напряжениями и мгновенными деформациями.

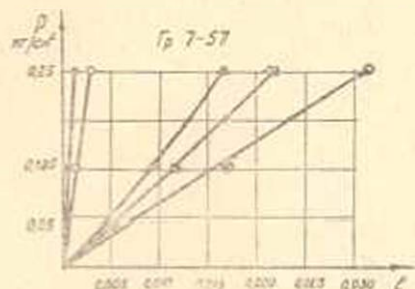
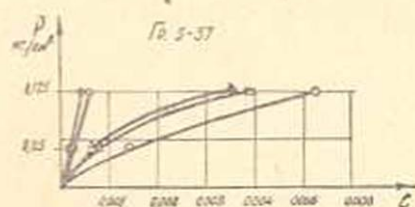
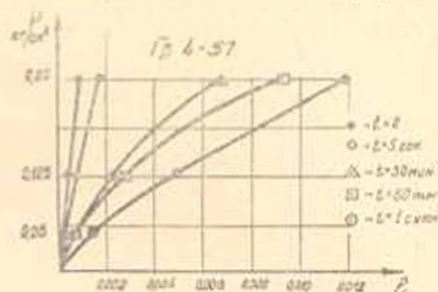
Как уже было отмечено, чем выше значения величин сжимающих нагрузок, тем меньше точность определения величин мгновенных деформаций, и наоборот. Чтобы проверить полученные нами ранее результаты исследования зависимостей между мгновенными деформациями и напряжениями, определенных при значениях нагрузок 0.25, 0.5, 1.0 и 2.0 кг/см², были выполнены приведенные ниже эксперименты при малых значениях сжимающих нагрузок (0.25, 0.125 и 0.05 кг/см²).

На фиг. 10 приведены результаты определения указанных выше зависимостей образцов грунтов 4-57, 5-57 и 7-57 нарушенной структуры (таблица 1).

Для определения зависимости между мгновенными деформациями и напряжениями, как и ранее [4, 9], была использована методика параллельного испытания образцов-близнецов разными нагрузками. Чтобы устранить влияние неровностей поверхности образцов, перед приложением указанных выше нагрузок все образцы предварительно уплотнялись нагрузками 0.25 кг/см² в течение одних суток.

Из графиков кривых фиг. 10 следует, что указанная выше зависимость с достаточной точностью выражается линейной зависимостью. Этот результат еще раз подтверждает правильность полученных ранее результатов, т. е. при $t \approx 0$, для грунтов нарушенной структуры, закон Гука справедлив.

Следует обратить внимание еще на то, что указанная выше линейная зависимость остается в силе и для „условно мгновенных“ де-



Фиг. 10.

формаций, т. е. для деформаций, соответствующих пятой секунде после момента приложения нагрузок.

Величины модулей мгновенных деформаций, вычисленные на основании выполненных ранее [4] и приведенных здесь экспериментов (фиг. 10), сведены в таблицу 3.

Таблица 3

	Лабораторные №№ грунтов									
	3363	3371	3454	3455	1-57	2-57	4-57	5-57	7-57	
E в кг/см ²	74	87	83	87	91	142	278	280	167	

Если сравнивать полученные нами значения модулей мгновенных деформаций грунтов нарушенной структуры, определенных при сжатии их в условиях отсутствия бокового расширения, с результатами опытов Н. Я. Денисова и Б. Ф. Редькова [10] посвященных определению динамического модуля сдвига G кембрийской глины нарушенной структуры ($G = 20-60$ кг/см²), нетрудно заметить, что порядок их величин один и тот же. Действительно, если от динамического модуля сдвига G перейти к динамическому модулю упругости E , принимая коэффициент Пуассона $\mu = 0.5$, для E получим значения $E = 60-180$ кг/см².

Институт математики и механики
АН Армянской ССР

Поступила 15 III 1959

Ս. Ռ. Մեսչան

ԿԱՄԱԿՑԱԾ ԳՐՈՒՆՏՆԵՐԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ շԱՏԱԿԻՔՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ՝ ԲԵՒՆԱՎՈՐՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ԱՉԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա. Մ. Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում բերված են երեք տարբեր կապակցված գրունտների փորձարկումները 0,25, 0,125 և 0,05 կգ/սմ² մեկ օրում արագությամբ աստիճանաձև աճող բեռներով սեղմելիս, երբ նմուշի կողային ընդարձակման հնարավորությունը բացակայում է:

Պարզված է, որ խախտված ստրուկտուրա ունեցող կապակցված գրունտների ղեֆորմացիոն հատկությունները կախված են ինչպես բեռնավորման աստիճանի մեծությունից և սղդման տեղությունից, այնպես էլ գրունտի տիկսոտրոպիկ ամրապնդման առակությունից:

Հոդվածում բերված են նաև երեք տարբեր գրունտների ակնթարթային և սղդքի ղեֆորմացիաների ուսումնասիրությունները նրանց աստիճանաձև (վերը բերված տարբեր արագություններով) բեռնավորելու դեպքում, ժամանակի ընթացքում այդ ղեֆորմացիաների զրաֆիկները և նրանց զրանցման առնչությունները:

Յույց է արված, որ հեղինակի կողմից ստացված ակնթարթային մո-
դուլների մեծությունները և [10] աշխատության մեջ բերված դինամիկական
առաջադիմություն մոդուլների մեծությունները միևնույն կարգի են:

ЛИТЕРАТУРА

1. Proceedings of the International Conference on soil mechanics and Foundation Engineering, 1936.
2. Денисов Н. Я., Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве. Гостехиздат, М.—Л., 1956.
3. Гольдштейн М. Н., Механические свойства грунтов. Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, М., 1952.
4. Месчан С. Р., О ползучести связного грунта при сжатии в условиях невозможности бокового расширения. Изв. АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, том XI, № 4, 1958.
5. Денисов Н. Я., О природе деформации глинистых пород. Изд. Минречфлота, М., 1951.
6. Месчан С. Р., К вопросу о влиянии продолжительности нагружения на ползучесть связных грунтов нарушенной структуры. ДАН АрмССР, том XXIII, № 2, 1956.
7. Гольдштейн М. Н., О структуре и сжимаемости грунтов. В кн. Вопросы геотехники. Трансжелдориздат, М., 1956.
8. Арутюнян Н. Х., Некоторые вопросы теории ползучести. Изд. техникотеоретической литературы, М., 1952.