

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Г. С. КАНАЯН

УПЛОТНЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
 КРАТКОВРЕМЕННОЙ МНОГОКРАТНО ПОВТОРНОЙ НАГРУЗКИ

1. В статических условиях деформация уплотнения глинистых грунтов во многих случаях растянута во времени. За это время происходит отток отжатой воды из уплотняющихся под нагрузкой грунтов. После многократного приложения, даже к полностью водонасыщенному грунту, кратковременно действующих нагрузок в некоторых случаях наблюдается незначительное, но ясно выраженное уменьшение влажности грунта и увеличение его плотности [1]. Автором статьи под руководством проф. Н. П. Маслова в лаборатории МАДИ были проведены экспериментальные исследования для выяснения характера уплотнения глинистого грунта при воздействии на него кратковременной многократно повторной нагрузке.

Для испытаний была использована установка, принципиальная схема которой и ее описание даются в [2, 3]. В качестве испытуемого грунта была использована кудиновская глина (Московская область) нарушенной структуры. Изготавливалась грунтовая масса при влажности 48%. Физические свойства глины приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влажность в %	Объемный вес скелета грунта			Пористость в %	Коэффициент пористости	Коэфф. водонасыщения	Предел пластичности		Число пластичности	Суммарный гранулометрический состав в %			
	$\gamma_s$	$\gamma_w$	$\gamma_o$				верхний	нижний		Гравий	Песок	Пыль	Глина
W	$\gamma_s$	$\gamma_w$	$\gamma_o$	n	e	G	W <sub>т</sub>	W <sub>р</sub>	Ф	2	2 — 0,05	0,05 — 0,005	0,005
52,3	1,14	1,73	2,76	58,7	1,421	1	52,4	30,3	22,1	—	19	30,4	50,6

Приготовленная грунтовая масса набивалась в кольца прибора. Начальная высота образцов до уплотнения в среднем равнялась 3,5 см, а площадь 40 см<sup>2</sup>. Для первой серии опытов кольца набивались грунтом так, чтобы был достигнут коэффициент водонасыщения грунта

$\sigma \approx 1$ . Затем эти образцы грунта предварительно уплотнялись под различными статическими вертикальными нагрузками до их полной консолидации. Консолидация считалась полной, если величина деформации образца грунта не превышала 0,2 мм в сутки. Высота образцов после их предварительного уплотнения колебалась в пределах от 2,41 см до 2,78 см, в зависимости от величины уплотняющей нагрузки.

В настоящей статье приведены данные, полученные при испытании образцов предварительно уплотнявшихся под статической нагрузкой  $P_{\text{стат}} = 4 \text{ кг/см}^2$ , так как основное количество опытов было проделано именно с такими образцами. Предварительно уплотненный образец грунта помещался в металлический стакан (рис. 1), состоящий из корпуса 1, водяной камеры 2, пористого штампа 3, сплошного штампа 4 и пьезометрической трубки 5, соединенной с корпусом 1 при помощи штуцера и резиновой трубки.

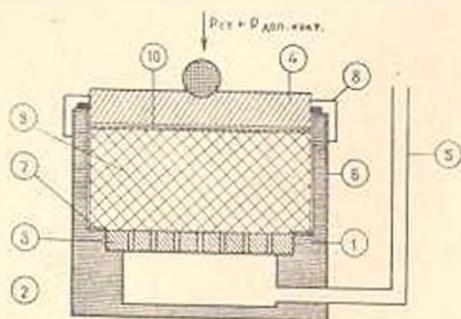


Рис. 1.

Чтобы избежать просачивания воды между кольцом 6 и стенкой стакана, при приложении к образцу грунта кратковременно действующей нагрузки, используется резиновое кольцо 7. После того как кольцо с предварительно уплотненным образцом грунта помещено в стакан, оно сверху прижимается накидной муфтой 8. Между сплошным штампом 4 и грунтом 9, в верхней части образца делается сплошная прокладка из резины 10, которая если и не исключает полностью, то в значительной степени ограничивает просачивание воды, отжатой из грунта, между штампом 2 и стенкой кольца 6 (при приложении кратковременной нагрузки).

Накопление остаточной части деформации при приложении к грунту кратковременно действующей нагрузки фиксировалось двумя мессурами. Объем отжатой воды измерялся по пьезометру, который имел шкалу, с миллиметровой ценой деления. Сечение трубки бралось равным  $0,1 \text{ см}^2$ . Стакан с образцом грунта помещался под рычажный пресс. Первая серия опытов проводилась при частоте приложения нагрузки, равной 15 циклов в минуту. Другая серия опытов была проведена при частоте, равной 30 циклов в минуту. Остаточная деформация образца грунта и объем отжатой из него воды, от приложения кратковременной нагрузки, фиксировались через каждые 500 циклов нагружения. После окончания опыта образец взвешивался, затем измерялась его высота и определялась влажность.

2. Деформация образца, накопленная за определенный промежуток времени под действием нагрузки, может быть охарактеризована модулем осадки определяемым по формуле:

$$e = \frac{\Delta h}{h} 1000 \text{ мм/м.} \quad (1)$$

где  $\Delta h$  — абсолютная деформация образца в мм;  $h$  — высота образца в см.

Модуль осадки определен по объему отжатой воды за измеряемый промежуток времени. Опыты, при воздействии на глинистый образец различных дополнительных (по отношению к статической) кратковременных нагрузок, показали, что модуль осадки зависит от величины этой нагрузки.

На рис. 2 представлен график зависимости модуля осадки от числа приложений кратковременной нагрузки, приложенной с частотой 15 цик-

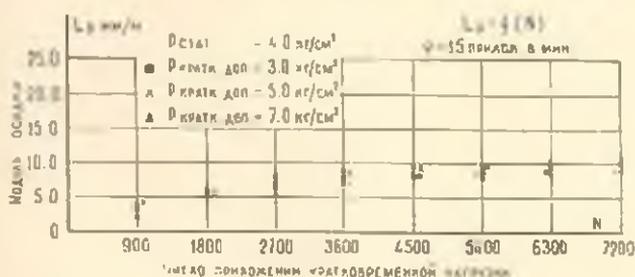


Рис. 2.

лов в минуту. На рис. 3 представлен аналогичный график для случая приложения кратковременной нагрузки с частотой циклов в минуту. При приложении кратковременной нагрузки образец грунта деформи-



Рис. 3.

руется. Однако после ее снятия восстановление деформации происходит не мгновенно. При этом к моменту нового приложения временной нагрузки в образце остается некоторая невосстановленная, остаточная часть деформации, которая накапливаясь в процессе многократного приложения нагрузки образует суммарную остаточную деформацию образца грунта, за счет явления фильтрационной консолидации. При частоте 15 циклов приложения нагрузки в минуту, время на восстановление деформации было больше, чем в случае приложения нагрузки с частотой 30 циклов в минуту. Естественно, что во втором случае невосстановленная остаточная часть деформации после каждого при-

ложения временной нагрузки будет больше, а отсюда и скорость накопления суммарной необратимой деформации будет больше.

Интересные данные получились при воздействии на предварительно уплотненные грунтовые образцы дополнительной статической нагрузки, равной по величине кратковременно действующей. Причем время действия дополнительной статической нагрузки равнялось суммарному времени действия временной нагрузки. Но нужно отметить, что и в этом случае исключается то время, в течение которого могло происходить восстановление деформации. При таких условиях проведения опыта модуль осадки грунтового образца например, при  $p_{\text{стат. доп.}} = 3,0 \text{ кг/см}^2$  получится в пределах модулей осадок полученных воздействием кратковременной нагрузки при  $\nu = 30$  приложений в минуту. При  $p_{\text{стат. доп.}} = 5,0 \text{ кг/см}^2$  модуль осадки получится больше, чем при  $\nu = 30$  приложений в минуту (рис. 4).



Рис. 4.

По всей вероятности  $p_{\text{стат. доп.}} = 3,0 \text{ кг/см}^2$ , частота приложения кратковременной нагрузки  $\nu = 30$  в минуту является как бы динамическим эквивалентом нагрузки. Для  $p_{\text{стат. доп.}} = 5,0 \text{ кг/см}^2$  надо искать большие частоты приложения временной нагрузки. Разница в модулях осадки при  $p_{\text{стат. доп.}} = 3,0 \text{ кг/см}^2$  и  $p_{\text{стат. доп.}} = 4,0 \text{ кг/см}^2$  при  $p_{\text{стат. доп.}} = 5,0 \text{ кг/см}^2$  объясняется тем, что здесь грунт ведет себя так, как если бы он уплотнялся под новыми, различными по величине вертикальными статическими нагрузками, хотя и за короткий промежуток времени. Было проведено несколько опытов, в которых наряду с увеличением числа приложений временной нагрузки увеличивалась и сама нагрузка. Полученные результаты приведены на рис. 5.

В случае возрастания временной нагрузки абсолютное увеличение модуля осадки носит затухающий характер. Из этого явствует, что увеличение плотности грунтового образца происходит не пропорционально увеличению временной нагрузки и должен наступить момент, когда как бы не увеличивали нагрузку не будет иметь место дальнейшее уплотнение грунта.

Физическая сущность процессов, лежащих в основе накопления остаточных деформаций глинистого образца при воздействии на него

кратковременных и многократно повторяющихся нагрузок объясняется явлением накопления необратимых микросдвигов грунтовых частиц, связанных с явлениями фильтрационной консолидации за короткий

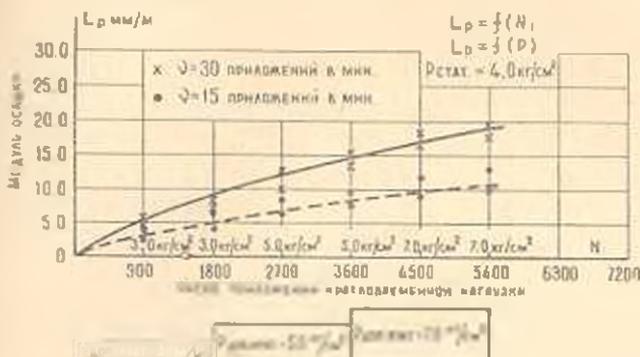


Рис. 5.

промежуток времени. Для более ясного представления физической сущности этого явления рассмотрим реологическую модель, предложенную проф. Н. Н. Масловым (рис. 6). Общая сопротивляемость сдвигу глинистого грунта  $s_{гш}$  определяется зависимостью

$$s_{гш} = p \operatorname{tg} \varphi_{гш} + \Sigma_{гш} + c_{гш} \quad (2)$$

где  $p$  — действующее в породе нормальное напряжение;

$\varphi$  — угол внутреннего трения при влажности  $w$ ;

$\Sigma_{гш}$  — связность породы водноколлоидной природы и обратного характера при влажности  $w$ ;

$c_{гш}$  — жесткое структурное сцепление с характером необратимых связей.

В этой модели  $p \operatorname{tg} \varphi_{гш}$  характеризует трение поршня 1 о стенки сосуда 2,  $\Sigma_{гш}$  определяется вязкостью жидкости 3,  $c_{гш}$  — прочностью пружины 4. Упруго-остаточные деформации грунта характеризует стальная пружина 5. Возьмем предельный случай, когда трение поршня 1 о стенки сосуда 2 отсутствует, т. е. член  $p \operatorname{tg} \varphi_{гш} = 0$ . Поскольку опыты проводились с глинистыми образцами нарушенной структуры, то  $c_{гш} = 0$ . При каждом кратковременном воздействии силы  $p$  на поршень, будут происходить упруго-остаточные деформации железной пружины 5 и вместе с тем будет иметь место незначительное движение поршня вверх. После многочисленных кратковременных при. ожений силы  $P$  должно наблюдаться вытекание вязкой жидкости в отверстие 6. Точно таким же образом вероятно должно происходить отжатие воды из грунтового образца при многократном воздействии на него временной нагрузки. Упруго-остаточные

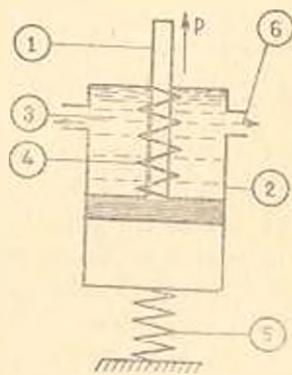


Рис. 6.

деформации стальной пружины  $\delta$  должны дать нам представление о характере накопления остаточной деформации образца грунта при приложении к нему временной нагрузки

Обобщая изложенное можно сделать следующие предварительные выводы:

1. При приложении к ранее уплотненному образцу грунта дополнительных по отношению к статической, кратковременных, многократно повторных нагрузок, происходит незначительное, но ясно выраженное прогрессирующее его уплотнение.

2. Деформация образца грунта от воздействия временной нагрузки носит упруго-остаточный характер в зависимости от состояния грунта.

3. По мере нарастания циклов приложения кратковременной нагрузки остаточные и упругие деформации уменьшаются по абсолютной величине, причем остаточные деформации носят затухающий характер.

МАДИ

Поступило 29.XII 1964

## Հ. Ս. ԿԱՍՅԱՆ

### ԿԱՎԱՅԻՆ ՓՐՈՒՆՏՆԵՐԻ ԽՏԱՅՈՒՄԸ ԲԱԶՄԱԹԻՎ ԱՆՊԱՐ ԿՐՈՂՈՂ ԽԱՆՐՈՒԹՅԱՆ ՏԱԿ

## Ս. մ փ ն փ ո ս ո

Հոդվածում քննարկված է ն կարճատև կրկնվող ծանրության տակ կավային գրունտի խտացման էքսպերիմենտալ տվյալները:

Փորձերը կատարվել են ջրահագեցված ( $G=1$ ) կավային գրունտների հետ: Թարգվել է, որ երբ նախորդ խտացված կավային գրունտի նմուշի վրա ապրում է բավաճաքիվ անդամ կրկնվող ծանրությունը, ապա տեղի է ունենում աննշան, բայց պարզ արտահայտված աստիճանաբար աճող խտացում և որ գրունտի խտացման աստիճանը կախված է ոչ թե ծանրության մեծությունից, այլ նրա ազդող ժամանակամիջոցից:

Փորձերը միամամանակ ջույց են տվել, որ կավային գրունտների խտացումը կարճատև ծանրության տակ կատարվում է կարճ ժամանակամիջոցում ֆիլտրացիոն կոնսոլիդացիայի պայմաններում:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Маслов И. И. Основы механики грунтов и инженерной геологии. Авторизованный перевод, 1961.
2. Seed H. B., Cham C. K. and Monismith C. I. Effects of Repeated Loading on the strength and Deformation of Compacted clay. Highway Research Board, Proceedings, 1955
3. Капаян Г. С. К вопросу об условиях уплотнения глинистых грунтов под периодически прикладываемой кратковременной нагрузкой. XXII-я Научно-исследовательская конференция МАДИ, тезисы докладов 11—18 апреля, 1964.