

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

С. Р. Месчян

К вопросу о ползучести связных грунтов

Когда материал под неизменной внешней нагрузкой, не превышающей эксплуатационной, деформируется во времени, говорят материал ползет [1].

Свойствами ползучести обладают, в той или иной степени, многие материалы, как-то: бетон, дерево, резина, пластмасса, металл—при высоких температурах и др. Свойствами ползучести обладают и грунты, которые под постоянными внешними нагрузками деформируются в течение длительного времени.

Вопрос о ползучести глин впервые был затронут Л. Л. Перковским [2] в 1946 г. на конференции по борьбе с оползнями. Л. Л. Перковский деформацию ползучести характеризовал как медленную, но непрерывно нарастающую, пластическую.

По данным Мушкетова, оползни берегов Волги в районе Ульяновска, Саратова, Вольска и др. становились заметными по истечении года и более с момента оползания [3].

Аналогичное явление имеет место при деформации грунтов на сжатие, причем кривая деформации во времени при малых нагрузках имеет затухающий характер [4].

При решении задач об уплотнении грунтов пользуются теорией консолидации. По этой теории процесс уплотнения грунтов рассматривается как процесс неустановившейся фильтрации в условиях изменения пористости скелета грунта, при той или иной уплотняющей нагрузке, или при изменении граничных условий жидкости, заполняющей поры грунта [5].

До настоящего времени по теории консолидации принималось, что длительность процесса деформации считается обусловленной исключительно вязким сопротивлением воды, вытекающей из пор грунта.

При этом приближенно принималось, что степень уплотнения грунта определяется только скоростью вытекания воды из пор грунта.

Как показывают исследования [6], фильтрационные явления полностью не характеризуют действительную природу деформации грунтов.

Исследованиями [6, 7, 8, 9] установлено, что в процессе уплотнения грунтов внешнее давление воспринимается частицами грунта через адсорбированные пленки воды и передается от частицы к ча-

стице через пленки связанной воды и сцементированные контакты частиц. Одновременно установлено, что в процессе уплотнения грунтов одновременно имеет место упругая деформация частиц, структурная деформация (перемещения частиц и структурных элементов друг относительно друга) и адсорбционная деформация (уменьшение толщин водных пленок при приближении частиц).

Упругие деформации, которые связаны со смещением структурных элементов кристаллической решетки частиц, протекают мгновенно и при небольших нагрузках весьма незначительны.

Структурные деформации грунтов имеют необратимый характер. Что касается адсорбционных деформаций, то они после удаления внешней нагрузки в некоторой степени могут иметь обратимый характер, если силы адсорбции превышают напряжения в контактах.

Продолжительность деформации Н. Я. Денисов [6] объясняет проявлением своеобразной вязкости, присущей структурным элементам грунта, а время, необходимое для протекания деформации, в основном связано со скоростью преодоления вязкого сопротивления взаимодействия между структурными элементами.

Поэтому, при рассмотрении деформации насыщенных водой грунтов (грунтовая масса) надо считаться с проявлением вязкого сопротивления перемещающихся друг относительно друга структурных элементов, выжиманием связанной воды из контактов частиц и удалением свободной воды, причем вязкое сопротивление, оказываемое структурными элементами, значительно больше, чем сопротивление вытекания свободной воды.

Таким образом *деформацией ползучести связанных грунтов* можно назвать структурно-адсорбционные деформации, обусловленные проявлением вязкого перемещения структурных элементов друг относительно друга и удалением связанной и свободной воды при постоянных внешних нагрузках.

Для учета вязко-пластических свойств воды и пластического характера сдвига смещающихся при уплотнении частиц, соприкасающихся друг с другом через оболочки связанной воды, М. Н. Гольдштейн [9] внес некоторую поправку в существующую теорию фильтрационной консолидации. Однако учетом вязко-пластических свойств грунта не исчерпываются все те факторы, которые влияют на процесс деформации, в частности, не учитываются цементационные связи между частицами.

Ясно, что учет всех факторов в явном виде связан с большими трудностями. Поэтому при решении задач уплотнения пористой, водонасыщенной земляной среды деформацию грунта, обусловленную вязким сопротивлением относительно смещению твердых частиц грунта и агрегатов, а также разрушением цементационных связей, вследствие чего при воздействии внешней нагрузки деформации возникают не сразу, а постепенно, В. А. Флорин [10, 11] рассматривает как ползучесть грунта.

Для учета ползучести грунта В. А. Флоринным были использованы уравнения (1) и (2) теории ползучести бетона, предложенной Н. Х. Арутюняном [1], относящиеся к линейной и нелинейной ползучести:

$$\epsilon_0 - \epsilon = l(t) = \sigma(\tau_1) \delta(t, \tau_1) + \int_{\tau_1}^t \frac{d\sigma}{d\tau} \delta(t, \tau) d\tau, \quad (1)$$

$$\epsilon_0 - \epsilon = l(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} - \int_{\tau_1}^t \sigma(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{1}{E(\tau)} \right] d\tau - \int_{\tau_1}^t f[\sigma(\tau)] \frac{\partial c(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau, \quad (2)$$

где ϵ_0 — коэффициент пористости до приложения нагрузки,

ϵ — коэффициент пористости грунта в момент времени t ,

$\sigma(\tau_1)$ — напряжение в скелете грунта в момент времени τ_1 ,

$\delta(t, \tau_1)$ — полная относительная деформация в момент времени t под действием осевой силы единичной интенсивности, приложенной в момент времени τ_1 .

Полная относительная деформация определяется следующим выражением:

$$\delta(t, \tau) = \frac{1}{E(\tau)} + c(t, \tau), \quad (3)$$

где $\frac{1}{E(\tau)}$ — упруго-мгновенная деформация, $C(t, \tau)$ — мера ползучести.

Мера ползучести по теории Н. Х. Арутюняна имеет следующий вид:

$$c(t, \tau) = \theta(\tau) [1 - e^{-\tau(t-\tau)}], \quad (4)$$

где $\theta(\tau)$ — предельная мера ползучести.

Полную относительную деформацию грунта с единичной осевой нагрузкой В. А. Флорин выразил следующей зависимостью:

$$\delta(t, \tau) = a + \sum_1^m a_n [1 - e^{-\tau(t-\tau)}]. \quad (5)$$

В выражении полной относительной деформации с единичной осевой нагрузкой был принят модуль мгновенной деформации $E = \frac{1}{a}$,

где a — коэффициент сжимаемости грунта.

Нами были выполнены экспериментальные работы с целью выяснения роли влажности в деформации связного грунта, что в свою очередь привело бы к пониманию процесса ползучести маловлажных грунтов и проверки справедливости выражения меры ползучести теории Н. Х. Арутюняна для описания процесса ползучести грунтов.

Для экспериментальных работ как материал был выбран суглинистый грунт, физические характеристики которого сведены в таблицу 1.

Таблица

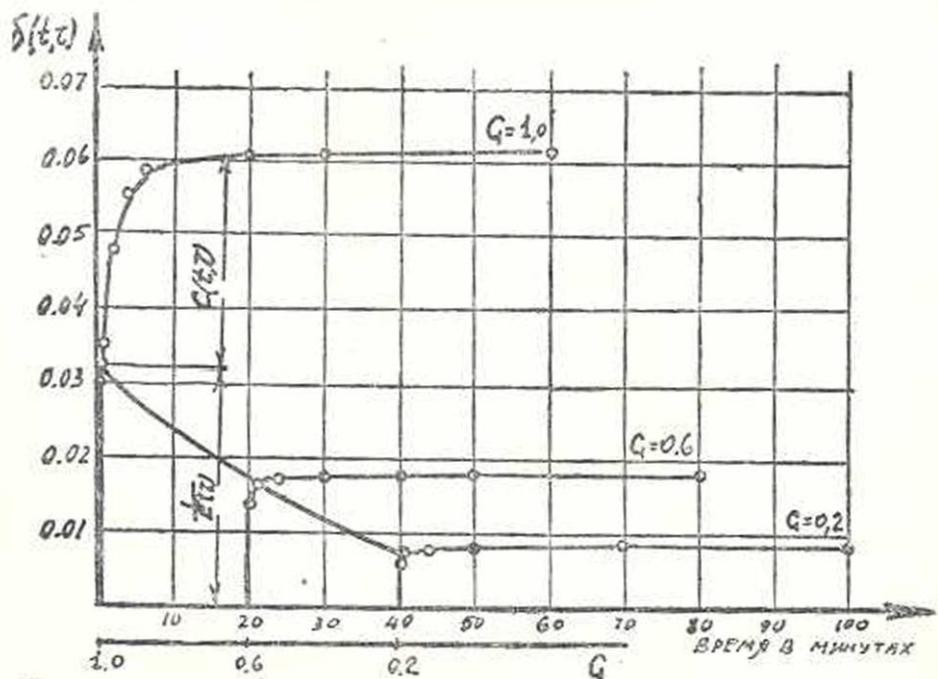
Мех. состав		Ест. влаж. в %	Объемн. вес в г/см ³	Удельн. вес в г/см ³	Гипр. влаж. в %	Пористость в %	Коэф. пористости	Степень влажн.	Число пластин.	Макс. мол. вл. в %
фракции в мм	к-во в %									
>0,05	49,60									
0,05-0,002	30,81	23,8	1,83	2,75	2,77	46,2	0,86	0,762	10,1	16,4
<0,002	19,59									

Для выяснения роли влажности в деформации ползучести грунта были проведены эксперименты над тремя образцами грунта нарушенной структуры при различных значениях начальной влажности и постоянных начальных значениях пористости ($\epsilon_0=0,910$).

Образцы имели следующие начальные значения влажности: $w=6,2, 18,7$ и $31,3\%$, что соответствовало значениям степени влажности $G=0,2, 0,6$ и $1,0$ (значения округлены). Для определения характера ползучести грунтов исследования проводились по обычной методике, которая принята для определения компрессионных свойств грунтов без насыщения водой [12] в однотипных компрессионно-фильтрационных приборах (комфильметрах) Г. И. Тер-Степаняна при постоянной единичной уплотняющей нагрузке.

Размеры испытываемых образцов: диаметр 70 мм, высота 20 мм.

На фиг. 1 помещены кривые полной относительной деформации

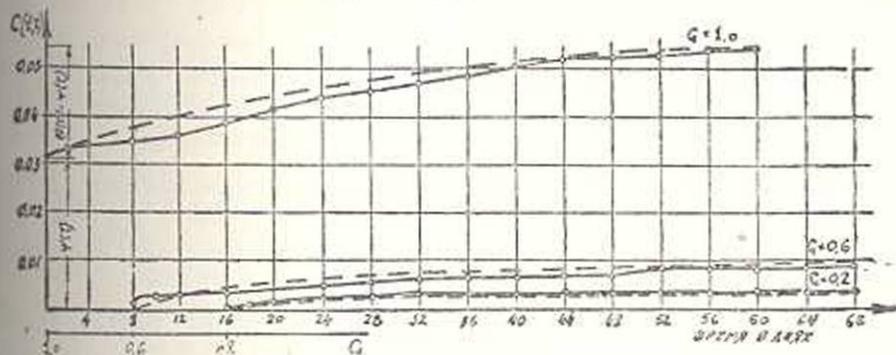


Фиг. 1

грунта при начальной пористости $\epsilon_0 = 0,910$, внешней единичной нагрузке в интервале времени до одного часа.

На фиг. 2 помещены кривые ползучести грунта начиная с минуты до шестидесяти суток.

На оси абсцисс графиков фиг. 1 и 2 отложены время t и степень влажности G , а на оси ординат — полная относительная деформация $\delta(t, \tau)$ и мера ползучести грунта $s(t, \tau)$.



Фиг. 2.

В данном случае t представляет собой момент времени, для которого определяется деформация, а τ момент приложения нагрузки, который соответствует данной начальной влажности грунта.

Рассматривая фиг. 1, можно заметить, что для всех образцов, независимо от начальных значений влажности, в течение нескольких минут после приложения внешней нагрузки имеет место интенсивное нарастание деформации, причем с ростом значения влажности растет и деформация.

При влажности $w \leq 18,7\%$ ($G \leq 0,6$) кривые ползучести грунта, начиная с первого часа после приложения внешней нагрузки, идут параллельно друг к другу, а кривая ползучести для значения влажности $w = 31,3\%$ несколько отклоняется. Одновременно надо обратить внимание на тот факт, что образец грунта со степенью влажности $G = 0,6$ ($w = 18,7\%$), который практически можно отнести к маловлажным грунтам, ползет также долго, как и грунт со степенью влажности $G = 1,0$.

На основании результатов экспериментов, поведение грунта под нагрузкой можно представить следующим образом. В зависимости от значения влажности после приложения внешней постоянной нагрузки в течение первого часа создается некоторое равновесие за счет упругих и структурно-адсорбционных деформаций с выжиманием части свободной и слабо связанной воды, после чего деформация ползучести развивается значительно медленнее, т. е. наступает процесс установившейся ползучести.

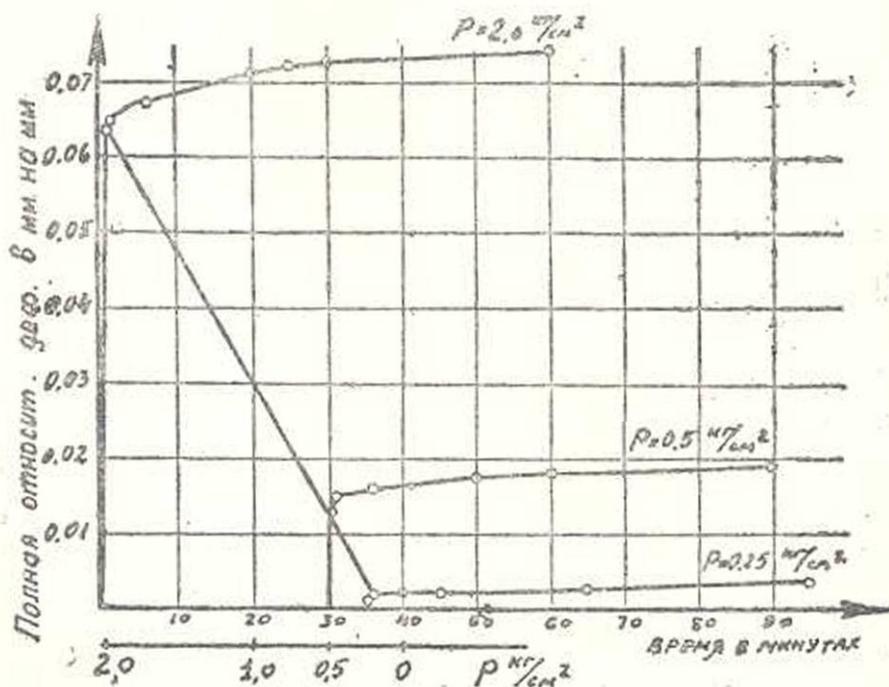
Деформация ползучести образца со степенью влажности $G = 0,2$ ($w = 6,2\%$) перестала развиваться после 20 суток, т. е. значительно раньше, чем у грунта с $G = 0,6$. Это обстоятельство следует также

объяснить влажностью, которая значительно ниже значения максимальной молекулярной влагоемкости данного грунта ($16,4\%$). Следовательно, если при приложении внешней нагрузки грунты с высокими значениями влажности могли уплотняться как за счет выжимания воды из пор и контактов частиц, так и за счет взаимного вязкого перемещения, то в этом случае, так как вся вода в грунте находится в связанном состоянии, уплотнение происходит только за счет взаимного вязкого перемещения частиц, в условиях более высокого значения вязкости связанной воды. Поэтому затухание деформации ползучести грунта, с влажностью ниже максимальной молекулярной влагоемкости, наступило значительно раньше, чем у грунта со степенью влажности $G=0,6$ ($w=18,7\%$).

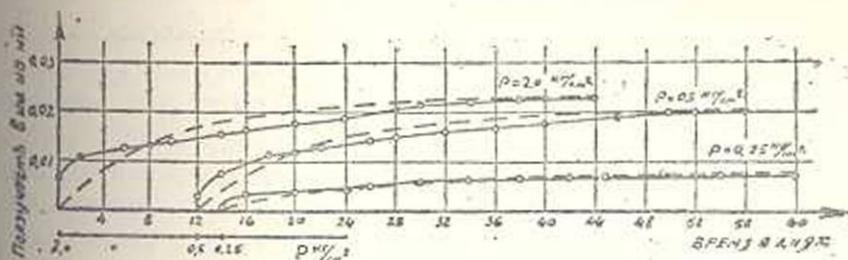
Для проверки справедливости зависимости меры ползучести теория Н. Х. Арутюняна для описания процесса ползучести грунтов, помимо вышесказанного, были проведены эксперименты над образцами грунта естественной структуры при сжатии.

Испытание грунтов ненарушенной структуры на сжатие также проводилось на однотипных комфилметрах Г. И. Тер-Степаняна при следующих размерах образца: диаметр 70 мм, высота 10 мм.

На фиг. 3 и 4 приведены кривые полной относительной деформации и ползучести грунта естественной структуры в зависимости от напряжения и времени при нагрузках 0,25, 0,50 и 2,0 $\text{кг}/\text{см}^2$.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

Для того, чтобы отделить кривые ползучести из графиков полной относительной деформации, необходимо исключить значения упругой мгновенной деформации.

Если определение упругой мгновенной деформации для твердых тел не связано с трудностями, то для грунтов это определение связано с большими трудностями, ибо деформация грунтов, начиная с момента приложения нагрузки до 30—60 сек., нарастает настолько быстро, что очень трудно проследить за ходом деформации.

Исходя из этого, деформация грунта в интервале времени от момента приложения нагрузки до 30—60 сек. нами условно выделена из общего графика как „псевдо-мгновенная“, а остальная часть деформации рассмотрена как деформация ползучести.

Такое рассуждение допустимо по той причине, что зависимость между „псевдо-мгновенными“ деформациями и напряжениями в этом интервале времени с небольшой погрешностью можно считать линейной. Конечно, этот вопрос нуждается в уточнении, а наше рассуждение можно считать только первым приближением.

На фиг. 2 и 4 приведены графики ползучести исследуемого грунта при сжатии в интервале времени от одной минуты до полного затухания деформации, где сплошными линиями показаны экспериментальные кривые, а пунктирными — кривые, вычисленные по формуле (4), за исключением одной кривой со степенью влажности $G=1,0$ (фиг. 2).

Как видно из графиков, кривые, вычисленные по формуле (4), дают хорошее совпадение с экспериментальными кривыми.

При описании кривой со степенью влажности $G=1,0$ (фиг. 2) с резко выраженным ростом деформации в начале кривой формула (4) давала большое расхождение. Чтобы избежать этого, зависимости меры ползучести (4) придали следующий вид:

$$c(t, \tau) = \varphi(\tau) + [\theta(\tau) - \psi(\tau)] [1 - e^{-t(\tau)}], \quad (4a)$$

где $\psi(\tau)$ — значение меры ползучести в интервале времени от одной минуты до одного часа.

$\theta(\tau)$ — в данном случае находится в определенной функциональной зависимости от влажности и удовлетворяет следующим условиям:

$$\begin{aligned} \text{при } G=0 & \quad \theta(\tau) = \psi(\tau) \min, \\ \text{при } G=1 & \quad \theta(\tau) = \psi(\tau) \max. \end{aligned}$$

Кривая, вычисленная по формуле (4а), как видно из фиг. 2, дает хорошее совпадение с кривой ползучести.

На основании вышеизложенного заключаем, что зависимость (4) теории ползучести Н. Х. Арутюняна остается справедливой и для описания ползучести грунтов, только в случае круглого роста деформации в начальном участке кривой, для получения хорошего совпадения теоретической и экспериментальной кривых зависимости (4) можно придать вид (4а).

Институт строительных материалов
и сооружений АН Армянской ССР

Поступило 9 VII 1954

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Изд. технико-теоретической лит., М.—Л., 1952.
2. Перковский Л. Л. Деформация в глинистых грунтах и вопросы расчета устойчивости откосов, сложенных глинистыми грунтами. В кн. «Проектирование и возведение земляного полотна железных дорог». Изд. АН СССР, М.—Л., 1954.
3. Нишипорович А. А. Сопротивление связных грунтов сдвигу при расчете гидротехнических сооружений на устойчивость. Стройиздат, 1948.
4. Паталеев А. В., Воженков С. Я. и Бирюков А. А. Механика грунтов, основания и фундаменты. Часть II. Трансжелдориздат, М., 1938.
5. Флорин В. А. Теория уплотнения земляных масс. Стройиздат, М.—Л., 1948.
6. Денисов Н. Я. О природе деформации глинистых пород. Изд. Минречфлота, М., 1951.
7. Васильев А. М. Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунтов. Гос. изд. лит. по строит. и archit., М., 1952.
8. Денисов Н. Я. О значении связанной влаги в деформациях глинистых пород. Гидротехническое строительство, № 9, 1951.
9. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов. Изд. лит. по строит. и archit., М., 1952.
10. Флорин В. А. Одномерная задача уплотнения сжимаемой пористой ползучей среды. Изв. АН СССР, ОТН, № 6, 1953.
11. Флорин В. А. Одномерная задача уплотнения земляной среды с учетом старения, нелинейной ползучести и разрушения структуры. Изв. АН СССР, ОТН, № 9, 1953.
12. Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов, Гестеоллиздат., М., 1952.

Ս. Ռ. ՄԵՇՉԱՆԸ

ԿԱՊԱԿՑՎԱԾ ԳՐՈՒՆՏՆԵՐԻ ՍՈՂՔԻ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՁԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում արվում է գրունտների սողքի բնույթը, Գրունտի սողքը դիտվում է որպես սարսկատորա-աղսարքյան դեֆորմացիա, որը պայմանավորված է գրունտի սարսկատորային էլեմենտների՝ մեկը մյուսի նկատմամբ մածուցիկ անդափոխմամբ, կապակցված և ազատ ջրի նեոացմամբ, արտաքին բեռնվածության հաստատուն պայմաններում.

էքսպերիմենտալ հետազոտութիւններէ շնորհիւ պարզված է, որ միևնույն գրունտի համար, կախված նրա խոնավութեան աստիճանից՝ փոփոխվում է նրա սողքի մեծութիւնը, ընդ որում խոնավութեան անձամբ անում է գրունտի սողքի մեծութիւնը:

Յետոններէ համար մշակված սողքի չափի արտահայտութիւնը Վ. Ա. Ֆլորինը կիրառել է գրունտներէ նկատմամբ, օգտվելով բետոնի ոչ-զծային սողքի մասին Ն. Յ. Հարութիւնյանի տեսութիւնից: Մեր կատարած փորձերը հաստատում են այդպիսի կիրառութեան հնարավորութիւնը, ընդ որում էքսպերիմենտալ և տեսական կորերի տարբերութիւնը մեծ չէ: