

С. Р. МЕСЧЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ МГНОВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИ ОДНОМЕРНОМ УПЛОТНЕНИИ

Механическое поведение глинистых грунтов при нагрузке и следующей разгрузке в условиях одномерного сжатия уже было предметом нашего рассмотрения [1]. Однако, учитывая необходимость уточнения природы мгновенных деформаций и ползучести, а также выяснения ряда других вопросов, проведены экспериментальные исследования, результаты которых и являются предметом рассмотрения настоящей статьи.

Экспериментальными исследованиями мы пытались определить: 1) механическое поведение глинистых грунтов при кратковременных испытаниях и тем самым выяснить природу мгновенных деформаций; 2) характер изменяемости обратнo-мгновенных деформаций при степенном увеличении длительности действия уплотняющей нагрузки; 3) зависимость между напряжениями и обратнo-мгновенными деформациями и 4) характер изменяемости мгновенных деформаций длительно уплотненных и упрочненных во времени образцов грунта нашенной структуры при переменной внешней нагрузке.

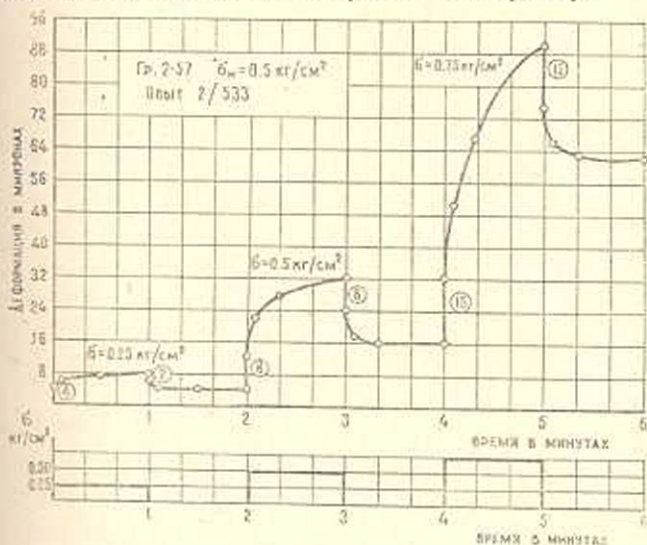
С указанной целью было выполнено больше двухсот опытов различных грунтах нарушенной структуры с длительностью опытов от нескольких десятков секунд до нескольких сот дней.

Опыты проводились как при однократном загрузении и последующей разгрузке образцов через различные интервалы времени, так и при многократном повторении циклов нагрузок-разгрузок. В случае многократного повторения указанных циклов при переходе от одного к другому циклу увеличивалась величина сжимающей нагрузки.

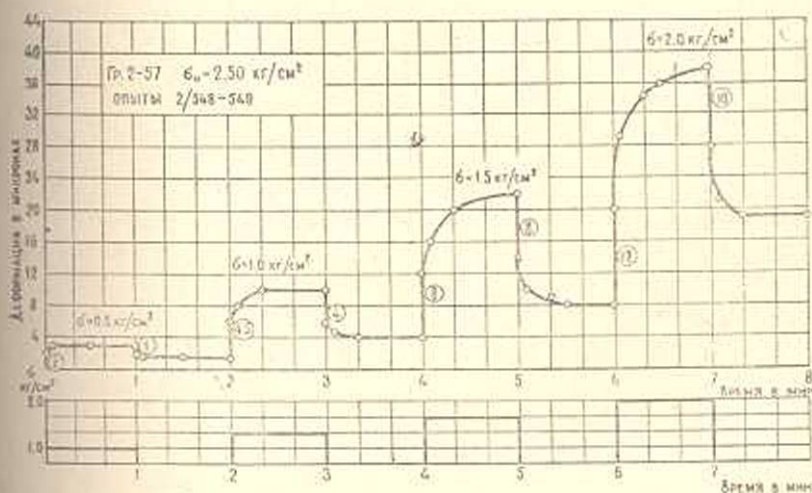
Для изучения влияния состояния грунта на изменяемость мгновенных деформаций испытывались водонасыщенные образцы различной плотности, влажности и структурной прочности. Различия в указанных показателях физико-механических свойств образцов достигалось предварительным их уплотнением нагрузками различной величины при различной продолжительности их действия. Продолжительность предварительного уплотнения образцов колебалась от нескольких минут до года и более, а величина уплотняющей нагрузки до 7 кг/см^2 .

Нагрузки прикладывались и удалялись за предельно короткое время, практически мгновенно (без удара) на полную величину. Все опыты проводились в компрессионных приборах конструкции автора [2] над образцами высотой 20 мм, диаметром 70 мм. Повторность опытов двухкратная.

Рассмотрим некоторые характерные результаты экспериментального изучения указанных выше вопросов по порядку.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

На графиках фиг. 1 и 2 показаны типичные графики механического поведения образцов при их кратковременных испытаниях (продолжительность цикла нагрузка-разгрузка равна 2 минутам) на примере грунта 2-57 (табл. 1). В рассматриваемом случае образцы до испытания подвергались очень длительному (больше года) уплотнению нагрузками 0,5 и 2,5 кг/см^2 .

Результаты опытов показывают, что при кратковременных испытаниях *мгновенная деформация* грунта практически восстанавливается полностью, а деформация ползучести только частично. Полная обратимость мгновенных деформаций свидетельствует о ее *упругой* природе, а неполная обратимость деформаций ползучести — об участии в этом процессе как структурно-адсорбционных, так и структурных деформаций [3].

Таблица 1

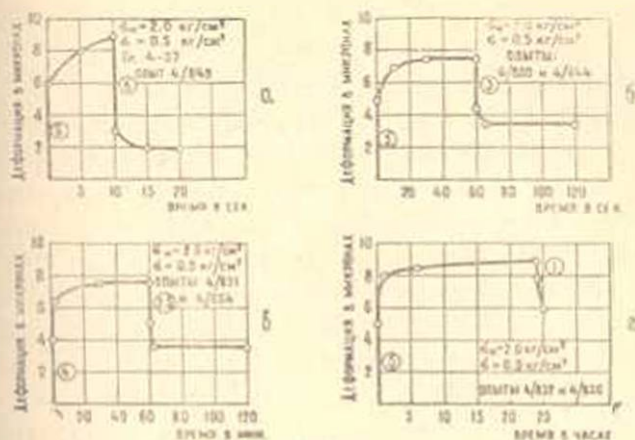
Лаб. № грунта	Наименование	Удельный вес g/cm^3	Пределы пластичности, %		
			предел текучести	предел пла- стичности	число пла- стичности
2—57	суглинок	2.66	31.3	18.6	12.7
4—57	глина	2.7	41.2	23.3	18.0
5—57	диатомитовый грунт	2.59	58.1	32.2	33.9
7—57	новошвейцар- ская глина	2.63	64.4	30.5	33.9

Наибольшее расхождение, которое имеет место между мгновенной и обратно-мгновенной деформациями (порядка 1—2 микрона), является результатом точности их измерения. Так как измерение деформации производилось двухмикронными индикаторами часового типа с точностью отсчетов в один микрон, такая ошибка должна была быть неизбежной. Как будет показано ниже, и при сравнительно больших мгновенных деформациях указанное расхождение также находится в этих пределах.

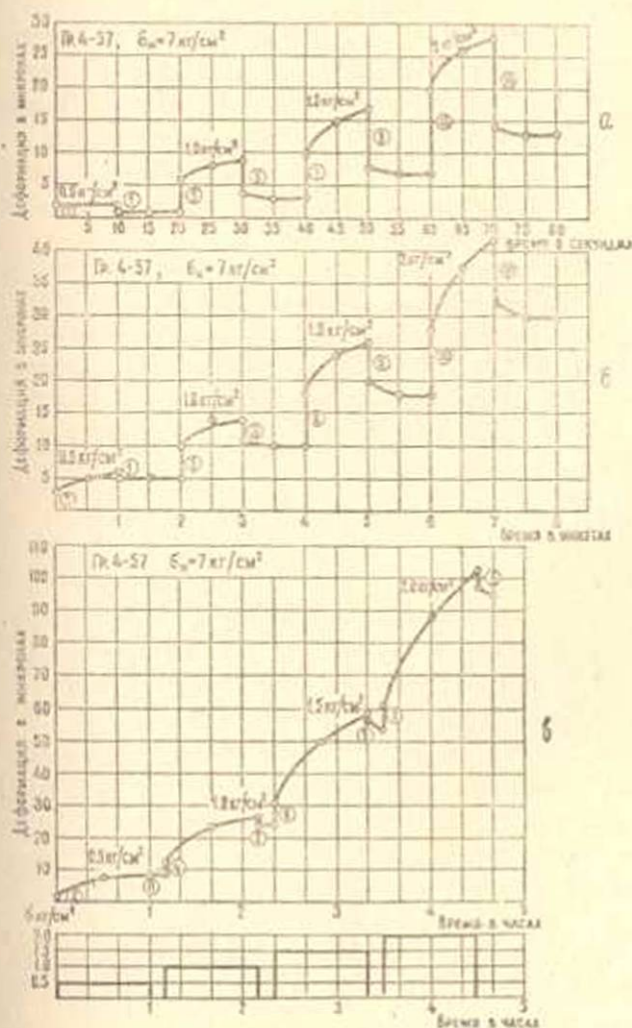
Таким образом, при кратковременных воздействиях сжимающих нагрузок, когда исключена возможность существенного изменения плотности грунта, а также влияния тиксотропного упрочнения, обусловленного проявлением новых связей между его частицами и агрегатами во времени, при разгрузке образца его мгновенная деформация полностью восстанавливается. А это значит, что в соответствии с терминологией теории упруго-ползучего тела [4] ее можно назвать *упруго-мгновенной*. Этим еще раз подтвердилось то справедливое замечание Т. Алфрея [5], что «упругая деформация является мгновенной, будь она даже и нелинейной».

Теперь проследим за изменением мгновенной деформации в зависимости от продолжительности действия приложенных к образцам-близнецам грунта нагрузок и тиксотропного упрочнения.

На фиг. 3 приведены четыре графика механического поведения образцов-близнецов грунта 4—57 при однократном их нагружении и разгрузке ($\sigma = 0,5 \text{ кг/см}^2$), а на фиг. 4—при четырехкратном нагружении и разгрузке нагрузками 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 кг/см^2 , через интервалы времени 10 сек, 1 мин, 1 ч и одни сутки. Перед испытанием образцы сперва были подвергнуты предварительному месячному уплот-



Фиг. 3.



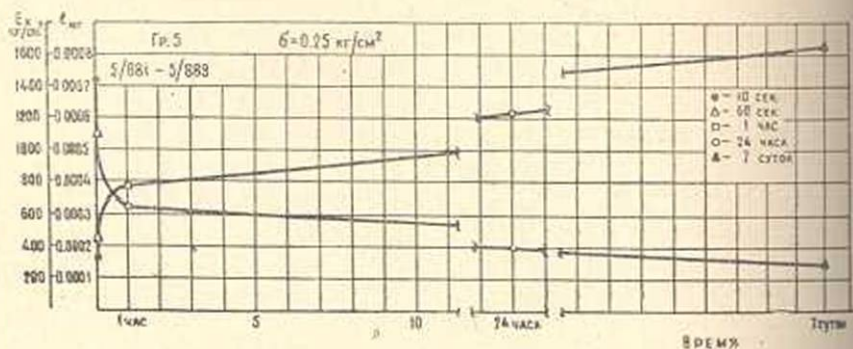
Фиг. 4.

Кривые напряжение—мгновенная деформация приведены в нижних левых углах указанных графиков, а в верхних правых углах этих же графиков приведены кривые напряжение—обратно-мгновенная деформация, определенные разгрузкой после 173 и 204—108-дневного уплотнения образцов грунтов. На этих же графиках указаны величины деформации ползучести образцов в момент разгрузки.

Как показывают результаты опытов, рассматриваемые зависимости с достаточной точностью выражаются *линейным законом* во всех состояниях грунтов. Следовательно, мгновенные деформации образцов, подвергнутых предварительному уплотнению различными нагрузками, при одинаковых продолжительностях уплотнения, изменяются на одну и ту же величину. Для гр. 4—57 указанное изменение колеблется в пределах четырех-шести раз, а для гр. 7—57—пяти-десяти раз. Причем наибольшее изменение мгновенной деформации соответствует сериям образцов-близнецов, подвергнутых наименьшему предварительному уплотнению.

Таким образом, на основании изложенного выше можно заключить, что степень изменяемости мгновенной деформации при уплотнении (сжатии) постоянными нагрузками зависит от его физико-механических свойств к началу загрузки, а также от величины нагрузки и продолжительности уплотнения.

Изменяемость мгновенной деформации грунта и ее модуля при постоянной во времени нагрузке можно определить методом разгрузки образцов-близнецов через различные продолжительности действия уплотняющей нагрузки. Так как упрочнение грунта как вследствие проявления сцепления упрочнения, так и уплотнения протекает во времени, изменяемость его мгновенной деформации $I_{\text{мгн}}$ и ее модуля E_k при заданном напряженном состоянии можно выразить через фактор времени t .



Фиг. 10.

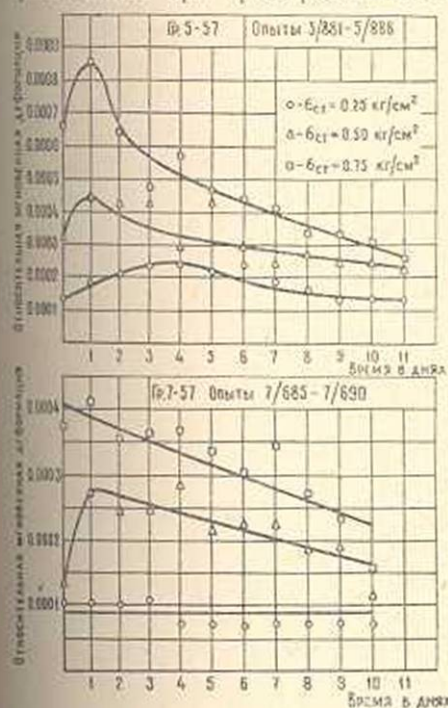
На фиг. 10 приведены кривые изменяемости $I_{\text{мгн}}$ и E_k , определенные методом разгрузки, при сжатии образцов-близнецов диатомитовой пасты нагрузками $0,25 \text{ кг/см}^2$ после их предварительного уплотнения нагрузками $0,25 \text{ кг/см}^2$ в течение трех суток.

Наконец, познакомимся с результатами исследования изменчивости мгновенных деформаций длительно уплотненных и упрочненных во времени образцов глинистых грунтов нарушенной структуры при их загрузении нарастающими равными ступенями нагрузок через равные интервалы времени.

Отметим, что испытанием слабоуплотненных глинистых паст нами ранее было установлено [9], что изменчивость мгновенной деформации во времени при постоянной скорости загрузки (независимо от величины ступени нагрузки) выражается затухающей кривой, то есть при переходе от одной ступени нагрузки к другой мгновенная деформация, постепенно уменьшаясь, стремится к некоторой постоянной величине, подчиняясь одному общему закону.

Как показали эксперименты, изменчивость мгновенной деформации грунтов, подвергнутых длительному предварительному уплотнению и упрочнению, протекает несколько иначе. В отличие от указанного выше случая, здесь на характер изменения $L_{\text{мгн}}$ заметно сказывается влияние величины ступени нагрузки (фиг. 11).

На фиг. 11 приведены кривые изменчивости $L_{\text{мгн}}$ двух различных грунтов — диатомитового грунта и новошвейцарской глины (табл. 1), определенные при трех различных скоростях роста внешней нагрузки.



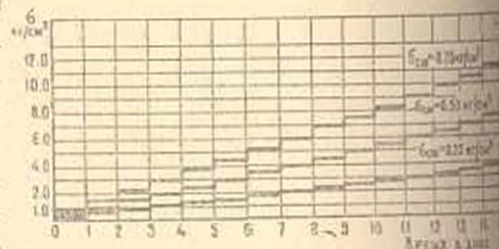
Фиг. 11.

Внешние нагрузки наращивались ступенями по 0,25, 0,5 и 0,75 кг/см^2 через каждые сутки (графики загрузки приведены на фиг. 12). Ступени нагрузок прикладывались на грунт на полную величину, без удара, с фиксацией величин мгновенных деформаций в моменты их приложения. Перед испытанием образцы-близнецы подвергались предварительному уплотнению нагрузками 2,25 кг/см^2 в течение полутора (гр. 5-57) и двух (гр. 7-57) месяцев.

Все три кривые, приведенные на графике фиг. 11а (гр. 5-57), по своей форме сильно отличаются друг от друга. Самым характерным у них является то, что максимальные значения мгновенных деформаций соответ-

ствуют не моменту приложения первых ступеней нагрузок (как это имеет место при испытании слабоуплотненных пласт), а некоторой другой ступени нагрузки. Причем, чем меньше величина ступени нагрузки, тем больше надо приложить ступеней нагрузок, чтобы до-

стичь максимума мгновенной деформации. Что же касается испытаний гр. 7—57, то в этом случае кривые $I_{\text{мгн}} = f(\tau)$, соответствующие испытаниям образцов нагрузками $\sigma_{\text{ст}} = 0,25$ и $0,75 \text{ кг/см}^2$, практически не отличаются от кривых, полученных испытанием слабо-уплотненных паст и только при $\sigma_{\text{ст}} = 0,5 \text{ кг/см}^2$ форма кривых $I_{\text{мгн}} = f(\tau)$ свидетельствует о влиянии величины ступени нагрузки на изменяемость $I_{\text{мгн}}$.



Фиг. 12.

Изложенное выше о влиянии величины ступеней нагрузок и состоянии грунта к началу испытания на изменяемость мгновенной деформации можно объяснить структурной прочностью скелета. А именно: в случае сжатия слабо-уплотненных паст в силу слабых структурных их связей, разрушение структуры и упрочнение происходит почти беспрепятственно, вследствие чего грунт постепенно уплотняется и упрочняется, а его мгновенная деформация постепенно уменьшается. В случае сжатия образцов, обладающих более прочными структурными связями, характер изменяемости мгновенных деформаций зависит от отношения величины ступени нагрузки к структурной прочности грунта. Когда внешняя нагрузка преодолевает сопротивление сцепления упрочнения и устраняет его влияние, форма кривых $I_{\text{мгн}} = f(\tau)$ будет такой же, какая она была у слабо-уплотненных паст, то есть наибольшее значение мгновенной деформации будет соответствовать первой ступени нагрузки (фиг. 116 при $\sigma_{\text{ст}} = 0,75 \text{ кг/см}^2$). В противном случае она достигает своего максимума только тогда, когда сцепление упрочнения будет частично или полностью устранено внешними нагрузками. После устранения сцепления упрочнения, то есть достижения $I_{\text{мгн max}}$ дальнейшая изменяемость мгновенной деформации протекает так, как у слабо-уплотненных паст [9].

Необходимо отметить, что после достижения $I_{\text{мгн}} = I_{\text{мгн max}}$ изменяемость мгновенной деформации не протекает гладко. Хотя не всегда $I_{\text{мгн}}$ от последующей ступени нагрузки меньше, чем от предыдущей, все же ясно одно: по мере уплотнения $I_{\text{мгн}}$ имеет тенденцию постепенно уменьшаться.

Следует обратить внимание на то, что, при испытании образцов гр. 7—57 ступенями нагрузок по $\sigma_{\text{ст}} = 0,25 \text{ кг/см}^2$, величина мгновенной деформации практически не зависит от уплотнения грунта. Это значит, что уплотнение грунта протекает без структурных деформаций и поэтому его упругие свойства почти не подвергаются изменениям.

По максимумам кривых $I_{\text{мгн}} = f(\tau)$ можно судить о приближенном значении величины структурной прочности грунтов. Из графиков кривых $I_{\text{мгн}} = f(\tau)$, приведенных на фиг. 11, следует, что для гр. 4—7

$\sigma_{\text{н}} = 1$ кг/см², а для гр. 7—57 $\approx 0,75$ кг/см², следовательно, их структурные прочности примерно равны 1 кг/см² и 0,75 кг/см².

Резюмируя изложенное выше, еще раз можно отметить, что характер изменяемости мгновенной деформации грунтов во времени обусловлен прочностью их структурных связей, величиной и темпом приложения внешних нагрузок.

В заключение приведем некоторые данные о наибольших значениях компрессионных модулей мгновенных деформаций E_k ряда грунтов, определенных нами испытанием образцов грунта нарушенной структуры, предварительно уплотненных различными нагрузками до девяти месяцев (табл. 2).

Таблица 2

$\sigma_{\text{н}}$ кг/см ²	Лабораторные номера грунтов					
	2—57		4—57		5—57	
	№ опыта	E_k , кг/см ²	№ опыта	E_k , кг/см ²	№ опыта	E_k , кг/см ²
0,5	2/533	1200	—	—	—	—
2,5	2/548	4540	—	—	—	—
3,0	—	—	4/850	3200	—	—
7,0	—	—	4/849	3840	—	—
8,0	2/546	10000	—	—	—	—
9,0	—	—	—	—	5/885	3000

Сопоставление данных, приведенных в табл. 2, с данными, приведенными в [9], показывает, что длительное уплотнение грунтов нагрузками до 9 кг/см² приводит к увеличению компрессионного модуля мгновенной деформации E_k до 70 раз, с достижением наибольшей его величины 10 000 кг/см² (суглинок за № 2—57, $\sigma_{\text{н}} = 8$ кг/см², продолжительность уплотнения девять месяцев). Что же касается величин нормальных модулей мгновенных деформаций E' , то они будут отличаться от E_k в среднем на 10%, так как коэффициент поперечного расширения (Пуассона) μ для таких грунтов колеблется в пределах от $\mu = 0,15$ до $\mu = 0,25$.

Данные о величинах E_k позволяют прийти к выводу, что если после девятимесячного уплотнения грунтовые пасты могут иметь $E_k = 10000$ кг/см², то модули мгновенных деформаций грунтов ненарушенной структуры, подвергнутых в природных условиях весьма длительному уплотнению нагрузками, превышающими использованные нами величины, должны обладать E_k , существенно превышающими приведенные в табл. 2 величины.

Модули упругости, полученные Д. Д. Барканом [10] (табл. 3) испытанием грунтов в полевых условиях, значительно меньше полученных нами величин.

Как правильно отмечает Н. Я. Денисов [11], эти данные получены по величине восстанавливающейся деформации, определенной

при разгрузке опытных штампов, которые являются следствием не только упругого расширения частиц, но и влияния адсорбционных процессов. Поэтому они не могут рассматриваться как характеризующие только упругие деформации.

Таблица 3

Характеристика грунта	E , кг/см ²
Пластичный суглинок	310
Коричневый суглинок, насыщенный водой	440
Лёсе	1000 ÷ 1300
Лёссовидный суглинок	1200
Тяжелый плотный суглинок	2950

Мы совершенно уверены в том, что причиной получения заниженных значений модулей упругости грунтов ненарушенной (естественной) структуры, помимо указанной выше, является влияние неровностей поверхности грунта [12, 13], на что, к сожалению, иногда исследователи не обращают серьезного внимания.

Институт математики и механики

АН Армянской ССР

Поступила 17 X 1964

Ս. Թ. ՄԵՍՉԻԱՆ

ԿԱՎԱՅԻՆ ԲՆԱՀՈՂԵՐԻ ԱՎԹԱՐԹԱՅԻՆ ԴԵՖՈՐՄԱՅԻՆՆԵՐԻ ՕՐԻՆԱԶՄԱՓՈԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԵԱԶՄԻ ԽՏԱՅՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. ի. մ.

Հորվածում քննարկված են հետևյալ հարցերը. ա) կախվին բնաձգերի մեխանիկական վարքագիծը կարճատև փորձարկումների ղեկավարում, բ) հակադարձելի ակնթարթային ղեֆորմացիաների փոփոխման բնույթը խտացնող բևեռի ազդեցության տևողության մեծացման ղեկավարում, գ) լարումների և հակադարձելի ակնթարթային ղեֆորմացիաների միջև գոյություն ունեցող կապը և դ) հարտառ խտացած ու ամրացած բնաձգերի ակնթարթային ղեֆորմացիաների փոփոխման բնույթը արտաքին փոփոխվող բևեռի ազդեցության տակ:

Փորձերի արդյունքները ցույց են տալիս, որ՝ 1) խտացնող բևեռի կարճատև ազդման ղեկավարում ակնթարթային ղեֆորմացիան լրիվ հակադարձելի է, այդ իսկ պատճառով ալն կարող է համարվել ակնթարթային առաձգական ղեֆորմացիա, 2) լարումների և հակադարձելի ակնթարթային ղեֆորմացիաների միջև կապը զծային է, 3) որքան մեծ է արտաքին խտացնող բևեռի ազդման տևողությունը և, հետևաբար, բնաձգի խտացումը և ժամանակի ընթացքում ամրապնդումը, այնքան փոքր է հակադարձելի ակնթարթային ղեֆորմացիան:

թային զեֆորմացիան, 4) հարառե խտացած և ամրապնդված բնահողերի ակնթարթային զեֆորմացիաների փոփոխումը արտաքին բնուի փոփոխման զեպքում խիստ տարբերվում է չխտացված բնահողերի փորձարկումներից խտացված արդյունքներից: Եթե վերջինիս զեպքում բնուի աստիճանաբար աճը բերում է ակնթարթային զեֆորմացիայի աստիճանաբար նվազմանը մինչև մի ինչ-որ հաստատուն մեծություն հասնելը, այդ զեպքում դրսևթյունը բարդվին այլ է: Բնուի աճը, իր սկզբնական շրջանում հանգեցնում է ակնթարթային զեֆորմացիաների աճման (ակնթարթային մոդուլի նվազմանը), իսկ հետո՝ նրա նվազմանը: Եզված երևույթը հեղինակը բացատրում է նրանով, որ հիշյալ բնահողերի զեֆորմացիան սկզբում ընթանում է նրանց կազմավորված քայքայումով (ամրության անկումով), իսկ հետո, երբ այդ պրոցեսը ավարտված է և բնահողն սկսում է ամրապնդվել խտացման աճի ու նոր կազմավորված քայքայի կապերի առաջացման հետևանքով, նկատվում է ակնթարթային զեֆորմացիայի նվազում և ակնթարթային զեֆորմացիաների մոդուլի բարձրացում:

Հորվածում բերված են ավախներ հարառե խտացած և ամրապնդված կավային բնահողերի ակնթարթային զեֆորմացիաների մոդուլների մասին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мещян С. Р. К вопросу экспериментального определения упругих характеристик связных грунтов при сжатии. ДАН АрмССР, 23, № 3, 1956.
2. Мещян С. Р. О ползучести связного грунта при сжатии. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 11, № 4, 1958.
3. Денисов Н. Ф. О природе деформации глинистых пород. Изд. Мииречфлота СССР, М., 1951.
4. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехтеоретиздат, М.—Л., 1952.
5. Алфрей Т. Механические свойства высокополимеров. ИЛ, М., 1947.
6. Цитович Н. А. Механика грунтов. Госстройиздат, М.—Л., 1951.
7. Флорин В. А. Одномерная задача уплотнения земляной среды с учетом старения, нелинейной ползучести и разрушения структуры. Известия АН СССР, ОТН, № 9, 1953.
8. Ушацкий И. И. Ползучесть бетона. Техиздат Украины. Киев—Львов, 1948.
9. Мещян С. Р. О влиянии скорости загрузки на деформативные свойства связных грунтов. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 12, № 4, 1959.
10. Баркан Д. Д. Динамика оснований и фундаментов. Стройвоенмориздат, М., 1948.
11. Денисов Н. Я. Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве. Госэнергоиздат, М.—Л., 1956.
12. Разоренов В. Ф. Методика учета систематических погрешностей при компрессионных испытаниях глинистых пород. «Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии». Сб. 15, Госгеолтехиздат, М., 1961.
13. Черкасов И. И. Влияние метода установки штампа на результаты испытания грунта пробной нагрузкой. ДАН СССР, 82, № 3, 1952.