

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ФГБОУ ВО «ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«МЕХАНИКА ГРУНТОВ»

Магас 2021

Печатается по решению Учебно-методического совета Ингушского государственного университета (протокол №\_\_\_ от «\_\_\_»\_\_\_\_\_20\_\_\_г.)

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент Цечоева А.Х.

Составители: **Ульбиева И.С., Ужахов К.М., Дзангиева А.Р.**

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Механика грунтов»/ ИнГу, 2021г, 28с.

Указания предназначены для студентов по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль: «Экспертиза и управление недвижимостью»

.

*Механика грунтов* – научная дисциплина, в которой изучаются напряженно-деформированное состояние грунтов и грунтовых массивов, условия прочности грунтов, давление на ограждения, устойчивость грунтовых массивов против сползания и разрушения, взаимодействие грунтовых массивов с сооружениями и ряд др. вопросов [1].

Механика грунтов опирается на результаты научных исследований в области механики сплошных сред (сопротивления материалов, теории упругости, теории пластичности), инженерной геологии, инженерной гидрогеологии, гидравлики и гидромеханики, а также др. инженерных дисциплин.

Основная задача механики грунтов - это оценка состояния в настоящий момент и прогноз дальнейшего поведения грунтов и массивов из них, прогноз происходящих в них процессов.

*Значение предмета.* Роль механики грунтов как инженерной науки огромна. Без знания основ механики грунтов не представляется возможным правильно запроектировать жилые здания, мелиоративные и дорожные, земляные и гидротехнические сооружения [2].

Механика грунтов является научно-теоретической базой инженерной дисциплины «Основания и фундаменты» и входит в цикл дисциплин для строительных специальностей, включающий курсы «Инженерная геология», «Механика грунтов», «Основания и фундаменты».

Процесс изучения дисциплин «Механика грунтов» для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 Строительство направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);

- способностью осуществлять и организовывать техническую эксплуатацию зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивать надежность, безопасность и эффективность их работы (ОПК-6);
- знанием нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест (ПК-1);
- владением методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированных проектирования (ПК-2);
- Знанием научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по профилю деятельности (ПК-13).

Целью лабораторных работ по механике грунтов является изучение основных механических характеристик грунтов (сжимаемости, прочности).

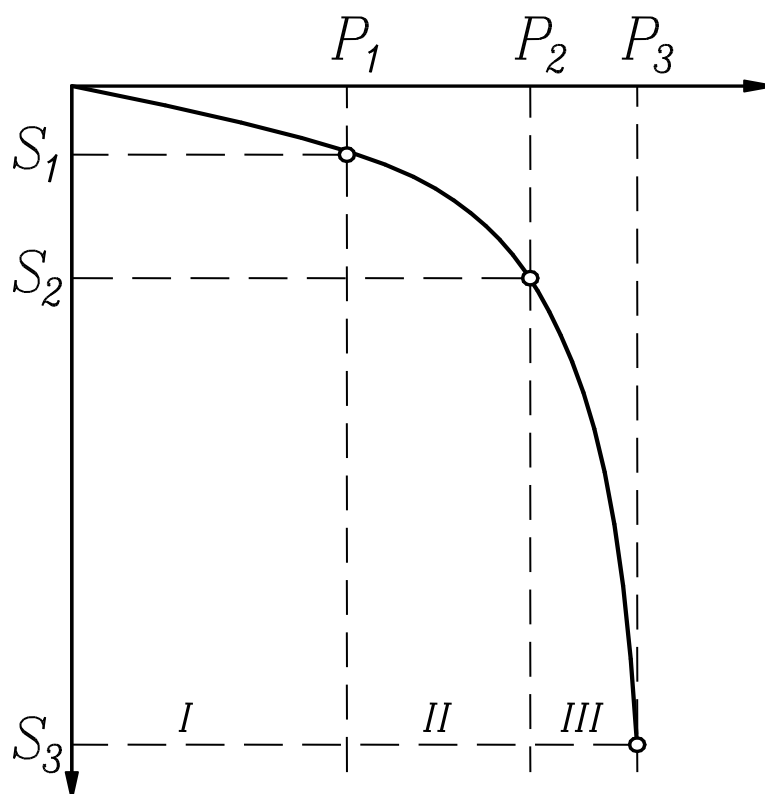
Каждый студент должен выполнить 4 лабораторные работы: «Компрессионные испытания грунта при естественной влажности», «Компрессионные испытания грунта при замачивании», «Определение относительной просадочности», «Сопротивление грунтов сдвигу», которые должны быть оформлены в журнале для записи результатов испытаний, заполняемом студентами индивидуально.

## МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Свойства, проявляющиеся в грунтах под влиянием приложения к ним внешних усилий и приводящие либо к изменению объема грунта, либо к нарушению его прочности и целостности в массиве, носят название *механические свойства грунта*. В соответствии с этим механические свойства подразделяются на деформативные, прочностные и реологические.

При воздействии возрастающей нагрузки (рис. 1) на грунт вначале (от 0 до  $P_1$ ) происходит уплотнение грунта, в результате которого деформация носит линейный характер и осадка  $S_1$  со временем затухает, затем

### Прочностные свойства грунтов



**Рис. 1.** График деформации

при увеличении нагрузки от  $P_1$  до  $P_2$  в грунте, помимо деформаций уплотнения, начинаются деформации локальных сдвигов  $S_2$ , что приводит к

нарушению линейного характера деформации – она продолжает равномерно нарастать –  $S_3$ . Таким образом, в начале II стадии возникают предпосылки нарушения прочности грунта. При дальнейшем возрастании нагрузки до  $P_3$  локальные сдвиги получают развитие во всей толще грунта основания, деформация нарастает без увеличения нагрузки и в конце этой фазы происходит выпор грунта из-под сооружения под действием сдвигающих сил и его разрушение.

Это явление характеризует прочностные свойства дисперсных грунтов, обусловлено сопротивлением грунтов сдвигу и выражается либо в потере прочности основания, либо в нарушении устойчивости откосов земляных сооружений.

Такое разделение деформаций достаточно условно, так как в любом массиве грунта под действием внешних сил возникают как сближение частиц, так и элементарные сдвиги. Однако при преобладании процесса уплотнения происходит деформация сжатия (осадка), а при повсеместном развитии сдвигов – потеря прочности и разрушение грунта.

### **Деформативные свойства грунтов**

Деформативные свойства грунтов проявляются в изменении формы и объема при воздействии на грунт внешних усилий, не приводящих к разрушению.

Как рыхлые, так и связные, глинистые грунты при приложении нагрузок уплотняются, т.е. уменьшают свою пористость, что приводит к изменению их формы: уменьшению мощности слоя, понижению отметок поверхности нагружаемой площадки, уменьшению высоты сжимаемого образца в лабораторном приборе. Такое изменение называется *деформацией*.

Описываемые деформации происходят под действием напряжений, возникающих в грунте после приложения внешней нагрузки. Они тем значительнее, чем больше величина прилагаемой нагрузки и зависят от первоначального состояния грунта: его вида, структуры, пористости, состава, влажности.

В дисперсном грунте эти деформации имеют объемный характер, так как в первую очередь связаны с уменьшением объема грунта, находящегося в напряженном пространстве.

Деформации возникают, как правило, в результате воздействия на скелет *нормальной* составляющей нагрузки и характеризуют способность грунта к уплотнению, которая внешне выражается *осадкой* его под сооружением.

К деформативным характеристикам грунтов относят модуль деформации, коэффициент Пуассона и относительную просадочность.

### **Реологические свойства грунта**

Под *реологическими свойствами* грунтов понимают закономерности протекания деформаций и изменения прочности грунта во времени. В дисперсных грунтах эти свойства проявляются в виде релаксации, ползучести и длительной прочности.

Под *релаксацией* понимают процесс перехода упругой деформации в необратимую пластическую, причем этот процесс протекает длительно и сопровождается постепенным уменьшением напряжений, вследствие раздробления части агрегатов, смещения частиц, выравнивания местных напряжений на контактах их друг с другом.

*Ползучестью* называют способность грунтов длительно деформироваться при постоянной нагрузке, меньшей чем разрушающая.

*Длительной прочностью* называется постепенно уменьшающаяся прочность грунта при длительном действии нагрузки.

Реологические свойства имеют большое значение при прогнозе развития осадки во времени и длительной прочности оснований, особенно для слабых грунтов.

## **Лабораторная работа № 1**

### **КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТА ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ**

**Цель работы:** определение сжимаемости грунтов при действии равномерно распределенной нагрузки без возможности бокового расширения (одноосное сжатие) при естественной влажности грунта.

**Оборудование и материалы:** компрессионный прибор (одеметр) КПр-1, прибор нагружения, набор гирь, индикаторы часового типа (мессуры), нож, бумажные фильтры, монолит грунта.

#### ***Пояснения к работе***

Задача исследования деформативных свойств заключается в изучении характера сжимаемости, величины и скорости этого процесса, в получении объективных характеристик, необходимых для расчетов осадок оснований сооружений.

Одним из основных законов механики грунтов является закон сжимаемости грунтов при действии нагрузки. Расчетные характеристики деформации грунтов определяются путем компрессионных испытаний.

*Сжимаемостью грунтов* называют способность их уменьшаться в объеме (давать осадку) под действием внешнего давления за счет уменьшения пор без коренного изменения структуры грунта. Степень сжимаемости и явления, происходящие при сжатии, зависят от характера и структуры грунта.

Некоторый объем грунта, подвергающийся нормальному давлению (например, от сооружения), сжимается в направлении большего из действующих напряжений и расширяется в перпендикулярном к нему направлении. Боковому расширению препятствует сопротивление окружающего грунта, поэтому сжатие протекает при ограниченной возможности бокового расширения.



Вводя определенные ограничения, в грунтоведении рассматривают сжимаемость грунтов в условиях невозможности их бокового расширения, которое называется *компрессией*.

Кривую зависимости коэффициента пористости от давления называют *компрессионной кривой*, она характеризует сжимаемость грунта, наиболее распространенным видом является  $e=f(P)$ . Эта кривая позволяет: 1) классифицировать грунты по величине сжимаемости; 2) устанавливать величину структурной прочности грунта; 3) определять модуль общей деформации грунта.

Компрессионные кривые получают экспериментально при испытании образцов грунта в компрессионных приборах.

Компрессионные свойства грунтов зависят:

- ✓ от структуры грунта: отдельно-зернистые грунты сжимаются быстрее, а конечные осадки их при всех прочих равных условиях меньше, чем у глинистых грунтов (в последних процесс сжатия часто протекает очень медленно);

- ✓ от минерального состава и содержания тонкодисперсной фракции: наличие в грунтах минералов группы монтмориillonита понижает сжимаемость за счет их набухания, а, наоборот, присутствие органических примесей и органоминеральных соединений резко увеличивает сжимаемость грунтов;

- ✓ от типа и характера внутренних связей: чем больше плотность укладки частиц грунта, тем меньше его сжимаемость; чем выше степень влажности, тем дольше протекает процесс сжатия глинистых грунтов;

- ✓ от темпа приложения нагрузок, который обуславливает полное или неполное завершение этапов сжатия.

Компрессионные испытания грунтов (ГОСТ 23908-79) выполняют в компрессионных приборах различных моделей.

Изменения коэффициента пористости, соответствующие принятым ступеням нагрузки, определяют по формуле  $\Delta e = \frac{\Delta h - d}{h_0}$ ,

где  $h$  – деформация образца при данной ступени нагрузки, мм;

$d$  – поправка на деформацию прибора;

$\Delta h$  – деформация, рассчитываемая по формуле  $\Delta h = h - h_0$ ,

здесь  $h_0$  – приведенная высота образца, найденная по формуле

$$h_0 = \frac{h_K}{1 + e_0},$$

здесь  $e_0$  – коэффициент пористости грунта в естественном состоянии;

$h_K$  – высота кольца прибора.

Окончательная формула для расчета коэффициента пористости имеет

вид 
$$e_i = e_0 - \frac{\Delta h - d}{h_e} (1 + e_0).$$

Степень сжимаемости грунтов при невозможности их бокового расширения обычно выражают через коэффициент сжимаемости (коэффициент компрессии, уплотнения)  $a$ . Величина этого коэффициента может быть определена по графику  $e=f(P)$ .

На небольшом отрезке компрессионную кривую (рис. 3) можно заменить прямой. Тангенс угла наклона этой прямой, характеризующий компрессию грунта при данном интервале давлений, и является коэффициентом сжимаемости  $a$ . Он может быть вычислен по формуле

$$a = \operatorname{tg} \alpha = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1}.$$

Чем больше  $a$  на данном участке исследуемой компрессионной кривой, тем, очевидно, более сильно сжимаем грунт при тех же значениях удельного давления.

Коэффициент сжимаемости является классификационной характеристикой, позволяющей разделить грунты по степени сжимаемости на четыре категории (табл. 1).

Таблица 1

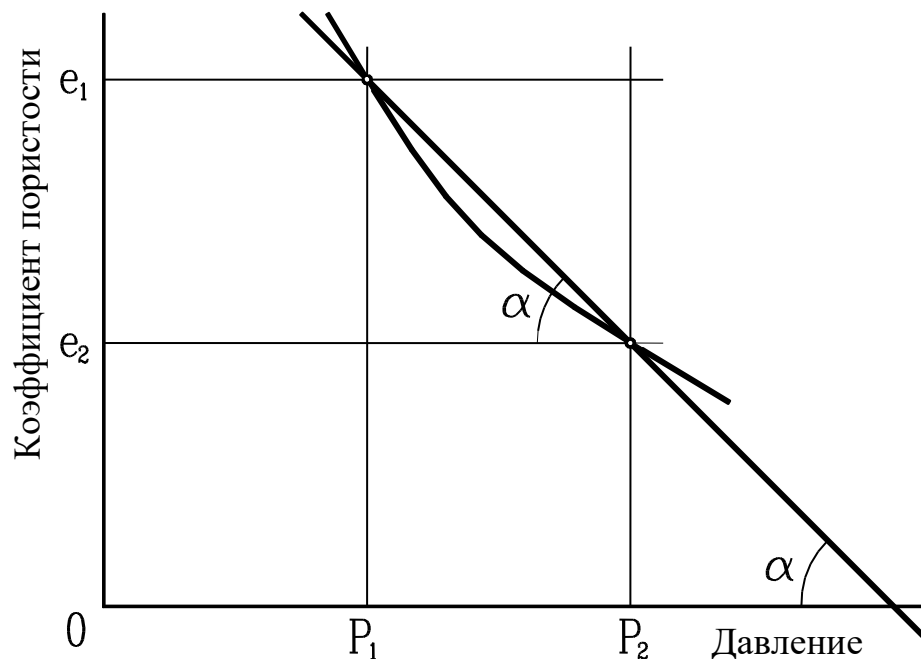
Грунт	Коэффициент сжимаемости $a$
Практически несжимаемый	Менее 0,001
Слабосжимаемый	0,001–0,01
Среднесжимаемый	0,01–0,1
Сильносжимаемый	Более 0,1

Расчетной характеристикой деформативных свойств дисперсных грунтов является *модуль деформации*, вычисляемый по формуле

$$E_0 = \beta \frac{1+e_i}{a},$$

где  $a$  – коэффициент сжимаемости для интервала соседних нагрузок;

$\beta$  – безразмерный коэффициент, зависящий от относительной поперечной деформации грунта и принимаемый равным: для песков 0,8; для супесей 0,7; для суглинков 0,5; для глин 0,4.



**Рис. 2.** Геометрический смысл коэффициента сжимаемости

Модуль деформации вычисляют для определенного интервала нагрузок, в пределах которых сохраняется линейная зависимость между общей деформацией грунта и теми напряжениями, которые ее вызывают. Этот

показатель применяется в практике для расчета деформаций оснований сооружений.

Если первоначально нагруженный грунт постепенно разгружать, то его объем и пористость будут увеличиваться. Это явление, обратное компрессии, носит название декомпрессии или набухания. Однако объем и пористость образца в процессе декомпрессии не достигают первоначальных размеров [4].

### ***Методические указания***

Грунт, заключенный в жесткую обойму, подвергается воздействию равномерно распределенной нагрузки, прилагаемой ступенчато от 0 до 0,5 МПа. Для данного грунта на основании показаний мессура определяем коэффициенты пористости  $e$ , уплотнения  $a$ , модуль деформации  $E$  и относительную просадочность  $\delta$ . По результатам испытаний строим компрессионную кривую.

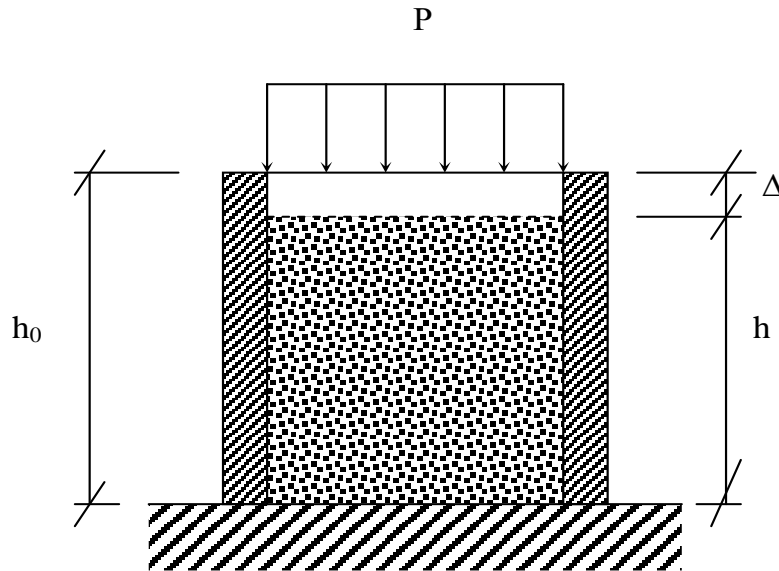
Испытания грунтов для определения компрессионной зависимости производим на специальных приборах, называемых компрессионными (одеметрами).

*Одеметр* – прибор, служащий для определения сжимаемости грунта. Деформации в одометре возможны только в вертикальном направлении, горизонтальные деформации отсутствуют. Вертикальное напряжение изменяется ступенями и является известным, боковые напряжения реактивные и остаются неизвестными. Величина деформаций зависит от усилия, приложенного на штамп. На рис. 3 показана схема одометра.

При расчете деформации образца необходимо учитывать деформацию прибора, для чего производится тарировка последнего. Действительная деформация образца равна разности между суммарной деформацией, зарегистрированной индикатором при опыте, и деформацией прибора, установленной при тарировке.

Тарировка прибора выполняется так же, как и компрессионные испытания: вместо грунта в кольцо закладывается специальный металлический диск и два бумажных фильтра, затем производится загрузка прибора ступенями и по индикатору определяются его деформации. По полученным данным строится график, который используется при расчете

действительной деформации образца. Тарировка прибора производится один-два раза в год. Данные тарировки заносятся в паспорт прибора.



До проведения испытания в компрессионном приборе необходимо знать основные характеристики грунта: плотность частиц грунта, плотность грунта при естественной влажности и ненарушенной структуре и естественную влажность.

Лабораторная работа выполняется в следующей последовательности:

1. Монолит очищают от парафина и осторожно удаляют нарушенный верхний слой.

2. На зачищенную поверхность грунта устанавливают режущую кромку кольца прибора. По наружному периметру кольца производят обрезку грунта и одновременно с обрезкой кольцо постепенно, легким движением вдавливают в грунт. Кольцо вдавливают без перекосов, строго вертикально во избежание нарушения структуры образца. Необходимо следить за тем, чтобы грунт в кольце не выкрашивался, не имел трещин, не было пустот между внутренней стенкой кольца и грунтом. Кольцо вдавливают в грунт до тех пор,

пока над верхним его краем не окажется 1-2 мм грунта. После этого кольцо с грунтом отделяют от монолита.

3. Широким ножом с прямым лезвием срезают излишек грунта по плоскости вровень с краями кольца. После тщательной обработки обеих поверхностей приступают к загрузке прибора.

4. Каждую торцевую поверхность пробы покрывают листом фильтровальной бумаги, которую увлажняют для лучшего прилипания к образцу в случае, если грунт сухой.

5. Кольцо с грунтом помещают в прибор для проведения испытания. Для лучшего прилегания металлического штампа к грунту прикладывают кратковременную нагрузку, величину которой подбирают соответственно состоянию грунта. Ориентировочно величина  $P$ , МПа, может быть принята следующей: а) для текучих грунтов 0,01; б) для пластичных грунтов 0,025; в) для твердых (плотных) грунтов 0,05.

Длительность воздействия кратковременной нагрузки должна быть не более 1–1,5 мин. Отсчет по индикатору, установившийся сразу после приложения кратковременной нагрузки, является начальным отсчетом опыта.

6. Дальнейшую нагрузку на образец передают ступенями в следующей последовательности:

- 1) для песчаных и глинистых грунтов – 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 МПа и т.д.;
- 2) для суглинистых грунтов – 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3 МПа;
- 3) для торфяно-илистых грунтов – 0,01; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,15 МПа.

Каждую ступень нагрузки выдерживают до стабилизации осадки. Она определяется моментом установления постоянства показаний индикатора. Практически стабилизация считается достигнутой, если разность между отсчетами через 3 ч не превышает 0,01 мм. По достижении стабилизации к образцу прикладывают следующую ступень нагрузки.

7. Затем ведут в обратном порядке разгрузку образца. Отсчеты по индикатору снимают по достижении стабилизации.

8. Разбирают прибор, берут, если это необходимо, пробу грунта на влажность. Затем детали прибора следует очистить, протереть, трущиеся поверхности смазать тонким слоем вазелина.

9. По данным испытания строят графики компрессионных кривых.

## **Лабораторная работа № 2**

### **КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТА ПРИ ЗАМАЧИВАНИИ**

**Цель работы:** определение сжимаемости грунтов при действии равномерно распределенной нагрузки без возможности бокового расширения (одноосное сжатие) при замачивании образца грунта.

**Оборудование и материалы:** компрессионный прибор (одометр) КПр-1, прибор нагружения, набор гирь, индикаторы часового типа (мессуры), нож, бумажные фильтры, монолит грунта.

#### **Методические указания**

Работа выполняется в той же последовательности, как и лаб. работа № 1, разница состоит в том, что после того как кольцо с грунтом помещают в прибор для проведения испытаний, производят замачивание грунта. Образец замачивают грунтовой водой, после чего производят нагружение. Дальнейший ход работы аналогичен предыдущей.

По результатам работы вычисляют коэффициент пористости  $e$ , модуль деформации  $E$ , коэффициент сжимаемости  $a$ , относительную просадочность  $\delta_{пр.}$ .

Данные заносят в журнал по форме табл. 2, которая приведена в заполненном виде в качестве образца.

Таблица 2

Результаты компрессионных испытаний					
при естественной влажности			при замачивании		
Измеренные значения		Деформ. $\Delta h$	Измеренные значения		Деформ. $\Delta h$
Давление Р, МПа	Показ. мессуры		Давление Р, МПа	Показ. мессур	
0,0	0	0	0,0	0	0
0,05	0,395	0,395	0,05	2/0,95	1,48
0,1	0,615	0,615	0,1	3,23/1,85	2,54
0,2	0,960	0,960	0,2	4,57/2,8	3,68
0,3	1,260	1,260	0,3	5,16/3,2	4,18
0,4	1,610	1,610	0,4	5,47/3,45	4,46
0,5	1,750	1,750	0,5	5,70/3,63	4,67
0,4	1,730	1,730	0,4	5,70/3,63	4,67
0,3	1,700	1,700	0,3	5,69/3,63	4,66
0,2	1,680	1,680	0,2	5,65/3,63	4,64
0,1	1,650	1,650	0,1	5,55/3,62	4,59
0,0	1,575	1,575	0,0	5,31/3,55	4,43

### Лабораторная работа № 3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПРОСАДОЧНОСТИ

**Цель работы:** определение расчетных деформативных характеристик грунта и его классификация по типу просадочности.

**Оборудование и материалы:** результаты выполнения лаб. работ № 1 и № 2.

### Пояснения к работе

Под *просадочностью* понимают дополнительную осадку грунта, возникающую в результате его замачивания в природно-напряженном состоянии под действием собственного веса или совместного давления от



собственного веса и внешней нагрузки. Просадочность сопровождается коренным изменением структуры грунта.

Просадочность — явление неблагоприятное, так как в результате просадок происходит опускание поверхности земли на величину до нескольких десятков сантиметров. Это, в свою очередь, приводит к неравномерным деформациям сооружений, для которых просадочный грунт служит основанием.

Относительной просадочностью  $\delta_{\text{пр}}$  называют отношение дополнительной осадки (просадки) образца или слоя грунта после замачивания к первоначальной высоте образца или мощности слоя того же

грунта в его природно-напряженном состоянии: 
$$\delta_{\text{пр}} = \frac{h' - h_{\text{пр}}}{h_0},$$

где  $h'$  — высота образца природной влажности при заданном давлении;

$h_{\text{пр}}$  — высота образца после просадки в результате замачивания;

$h_0$  — высота образца грунта с природной влажностью при природном давлении на глубине отбора образца.

Относительная просадочность определяется в долях единицы.

Таким образом, к просадочным грунтам относятся грунты, у которых величина относительной просадочности  $\delta_{\text{пр}} \geq 0,01$  по СНиП [5].

Для определения просадочности применяется метод двух кривых или метод одной кривой [6].

По типу грунтовых условий просадочные грунты разделяются на:

грунты I типа просадочности, когда просадка происходит в основном в пределах деформируемой зоны основания от давления фундамента или другого вида внешней нагрузки, а просадка от собственного веса грунта отсутствует или не превышает 5 см;

грунты II типа просадочности, когда просадка возникает от собственного веса грунта просадочной толщи (в основном в нижней ее части) и ее величина превышает 5 см.

Просадку рассчитывают исходя из величины относительной просадочности, числа слоев и мощности каждого просадочного слоя грунта.

В зависимости от типа грунтовых условий выбирают мероприятия по предупреждению возможных просадочных деформаций или по устранению последствий, вызванных просадкой. Эти мероприятия могут быть трех видов:

*водозащитные*, например, различного вида "одежды" гидротехнических сооружений, строящихся на просадочных грунтах;

*конструктивные*;

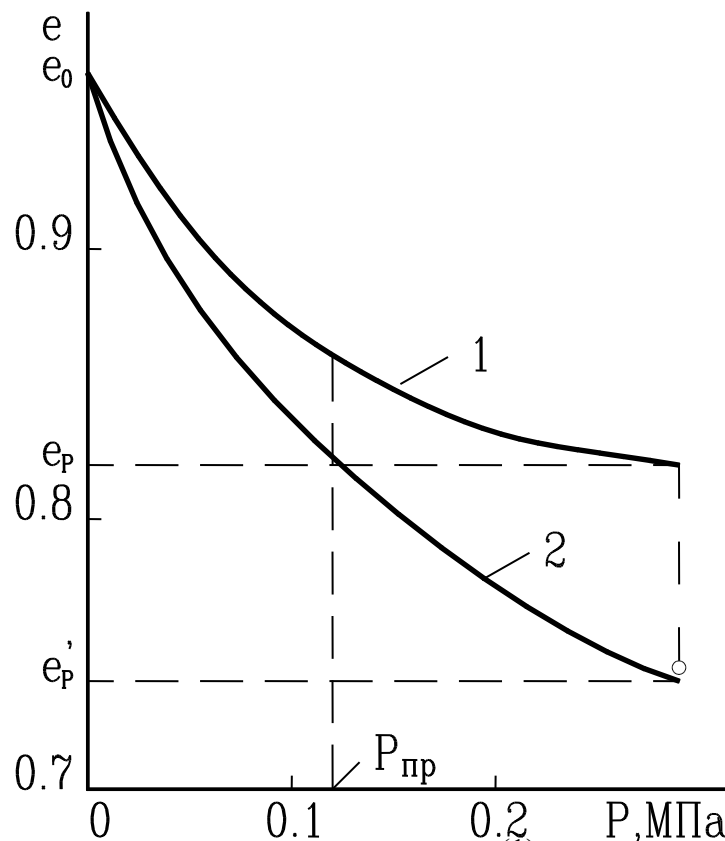
*мероприятия по улучшению физико-технических свойств* просадочных грунтов (силикатизация, термическое закрепление, водозащитные мероприятия, уплотнение и др.).

### ***Методические указания***

*Метод двух кривых.* Сущность этого метода состоит в испытании двух идентичных образцов, отобранных из одного монолита. Расхождение в естественной влажности их не более 2 %, а плотность сухого грунта 0,03 г/см<sup>3</sup>. Первый образец испытывается при естественной влажности, второй — в состоянии полного водонасыщения. Вторым образцом насыщают при давлении на него 0,025 МПа в течение 12 ч, после этого проводят испытания по описанной выше схеме.

Метод двух кривых помимо определения относительной просадочности позволяет рассчитать начальное просадочное давление  $P_{пр}$ , принимая за его величину то давление, при котором относительная просадочность составляет 0,01 (рис. 4).

Метод двух кривых обеспечивает возможность получения значений относительной просадочности в полном интервале нагрузок при компрессионных испытаниях грунта.



**Рис. 4.** Компрессионные кривые просадочного сухого (1) и замоченного (2) грунта, испытанного по методу 2 кривых

*Метод одной кривой.* Испытания просадочных грунтов данным методом проводят в случаях, когда известна нагрузка от сооружения, при определении просадки от собственного веса грунтовой толщи, при изучении послепросадочных деформаций грунта за счет ползучести его скелета и развития суффозии в случае постоянного и длительного увлажнения.

Просадочность определяют в приборах с площадью кольца не менее 40 см<sup>2</sup> и высотой не менее 2 см. Прибор должен обеспечивать подачу воды к образцу снизу вверх и ее отвод, возможность приложения нагрузки ступенями по 0,010 МПа и измерение осадки с точностью до 0,01 мм. Загрузка прибора, приложение ступеней нагрузки и ход работы аналогичны испытанию непросадочного глинистого грунта в состоянии естественной влажности.

Метод одной кривой обеспечивает возможность получить значение относительной просадочности при фиксированной нагрузке.

#### ***Порядок выполнения работы***

### *Испытание грунта по методу двух кривых*

1. Из одного монолита, как можно ближе друг к другу, отбирают в предварительно взвешенные кольца два образца грунта. Кольца с грунтом взвешивают и загружают в приборы. Образец, который будет испытываться при естественной влажности, обкладывают при загрузке в прибор влажной ватой, чтобы он не высох во время опыта. Другой образец нагружают давлением 0,025 МПа и замачивают в течение 12 часов.

2. Проводят компрессионные испытания обоих образцов.

3. После достижения стабилизации осадки образца, испытываемого при естественной влажности, на конечной ступени нагрузки его замачивают и ведут наблюдение.

4. Разбирают приборы, вынимают грунт из колец, взвешивают его и сушат, чтобы определить влажность и плотность сухого грунта.

5. Строят обе компрессионные кривые на одном графике.

### *Испытание грунта по методу одной кривой*

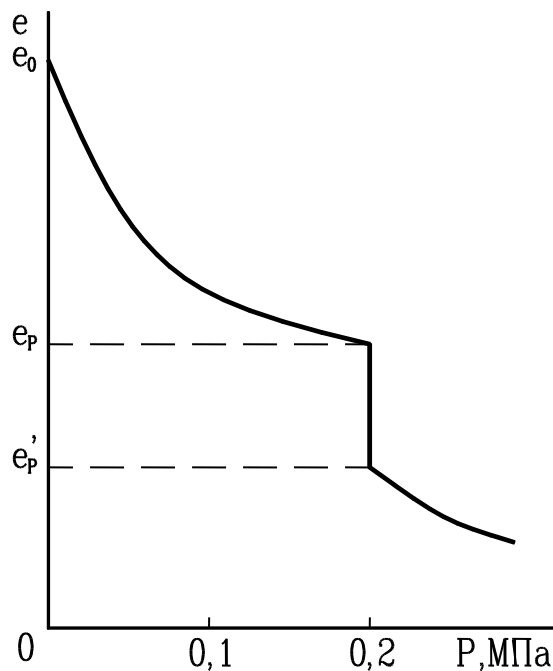
1. Готовят образец и загружают его в прибор, как в лаб. работе № 1. Если нужно определить просадку от собственного веса толщи грунта, определяют бытовое давление на глубине взятия образца. Если нужна просадка от веса сооружения, берут сумму проектной нагрузки от сооружения и бытового давления.

2. Ступенями, как и в лаб. работе № 1, прилагают нагрузку, пока давление не достигнет заданного.

3. После стабилизации осадки в прибор подают воду снизу вверх и следят за показаниями индикатора. Отсчеты по индикатору снимают через 5, 10 и 30 мин. от начала испытаний, затем до конца рабочего дня через 1 ч. Последующие отсчеты берутся через каждые 3 ч до конца стабилизации осадки. В случае, когда изучают послепросадочные деформации, наблюдение за осадкой ведут не менее 15 сут. За условную стабилизацию принимают приращение деформации не более 0,01 мм за 5 сут.

4. Разбирают и очищают прибор, берут при необходимости пробы грунта из кольца.

5. Строят график компрессионной кривой (рис. 5).



**Рис. 5.** Компрессионная кривая просадочного грунта, испытанного по методу одной кривой с замачиванием при  $P=0,3$  МПа

Относительную просадочность при заданном давлении вычисляют по

формуле

$$\delta_{\text{при}} = \frac{\Delta h - d}{h_0},$$

где  $\Delta h$  – дополнительная (от замачивания) деформация образца  $\Delta h = h - h_i$  (здесь  $h$  – высота образца природной влажности после обжата заданным давлением  $P_i$ ;  $h_i$  – высота того же образца после замачивания);

$d$  – поправочный коэффициент на деформацию прибора;

$h_0$  – высота образца природной влажности при бытовом давлении.

Данные заносят в журнал по форме табл. 3, которая приведена в заполненном виде в качестве образца.

Давление  Р,  МПа	Расчетные деформативные характеристики						
	при естест. влажн.			при замачивании			Отн. прос. $\delta_{пр}$
	Коэффициент		Е, МПа	Коэффициент		Е <sub>зам</sub> , МПа	
	пористос ти $e$	уплотне ния $a$		пористо сти $e$	уплотне ния $a$		
0,0	0,71	0,4	3,42	0,71	1,7	0,8	0
0,05	0,66			0,61			0,043
0,1	0,65			0,54			0,077
0,2	0,64			0,46			0,108
0,3	0,62			0,42			0,117
0,4	0,60			0,40			0,114
0,5	0,59			0,39			0,117
0,4	0,59			0,39			0,117
0,3	0,59			0,39			0,117
0,2	0,595			0,39			0,118
0,1	0,597			0,40			0,118
0,0	0,6			0,40			0,114

По полученным данным строят компрессионные кривые (рис. 6).

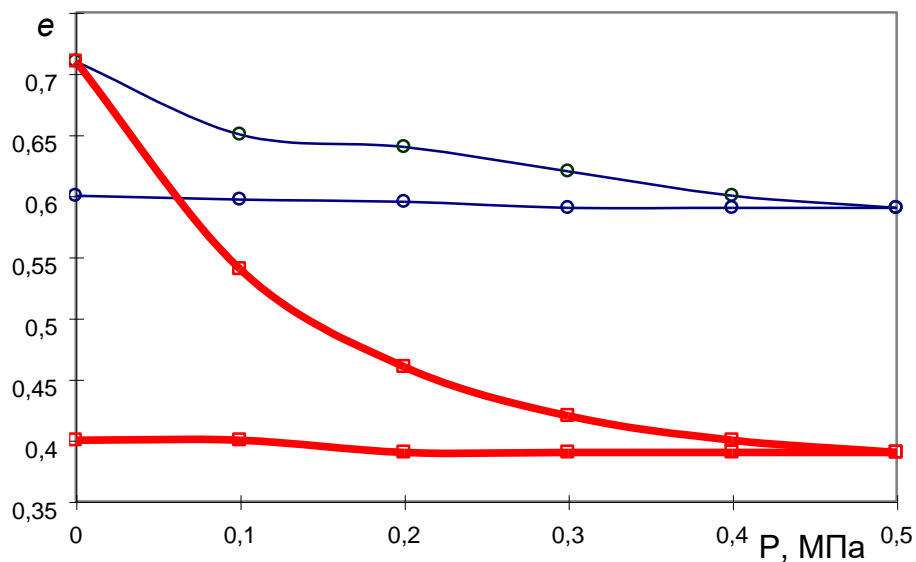


Рис. 6. Пример построения компрессионных кривых:

—○— при естественной влажности; —■— при замачивании

## **Лабораторная работа № 4**

### **СОПРОТИВЛЕНИЕ ГРУНТОВ СДВИГУ**

**Цель работы:** определение прочностных характеристик грунта.

**Оборудование и материалы:** прибор для испытания грунтов на сдвиг ПСГ, мессуры (индикаторы часового типа), набор гирь, нож, монолит грунта.

#### ***Пояснения к работе***

Сопротивление грунта сдвигу относят к одному из наиболее важных законов механики грунтов. Впервые этот закон был установлен Ш.О. Кулоном в 1773 г. Сопротивление грунтов сдвигу характеризуется углом внутреннего трения и удельным сцеплением, которые определяются путем лабораторных испытаний и др. методами.

Изучение сопротивления грунтов сдвигающим усилиям, возникающим в результате воздействия различных инженерных сооружений, имеет большое значение для правильного расчета устойчивости оснований (несущей способности) и др. инженерных расчетов. Одни исследователи полагают, что сопротивление глинистых пород сдвигу обусловлено только сцеплением между частицами, показателем которого является коэффициент сцепления, другие считают, что сопротивление глинистых пород сдвигу зависит как от сил трения, так и от сил сцепления. Показателями сил трения, действующих в грунте, считают угол внутреннего трения и коэффициент трения. Сопротивление сдвигу одного и того же грунта не постоянно и зависит от физического состояния грунта – степени нарушенности естественной структуры, плотности, влажности, а также от условий производства испытаний (конструкций прибора, скорости сдвига и т. п.).

Определение сопротивления грунтов срезу производится методами: консолидированного среза, неконсолидированного среза.

#### ***Методические указания***

*Метод неконсолидированного среза.* Этим методом неконсолидированного среза испытывают образцы ненарушенного сложения

суглинков и глин, которые в природном залегании находятся в водонасыщенном состоянии, а также образцы без приложения нагрузки.

Грунт, заключенный в жесткую обойму, подвергается воздействию равномерно распределенной нагрузки  $q$  (рис. 7). К верхней части обоймы прилагается постепенно увеличиваемая нагрузка  $P$ . При достижении некоторого критического значения нагрузки  $P$  происходит смещение одной части обоймы относительно другой, т.е. сдвиг.

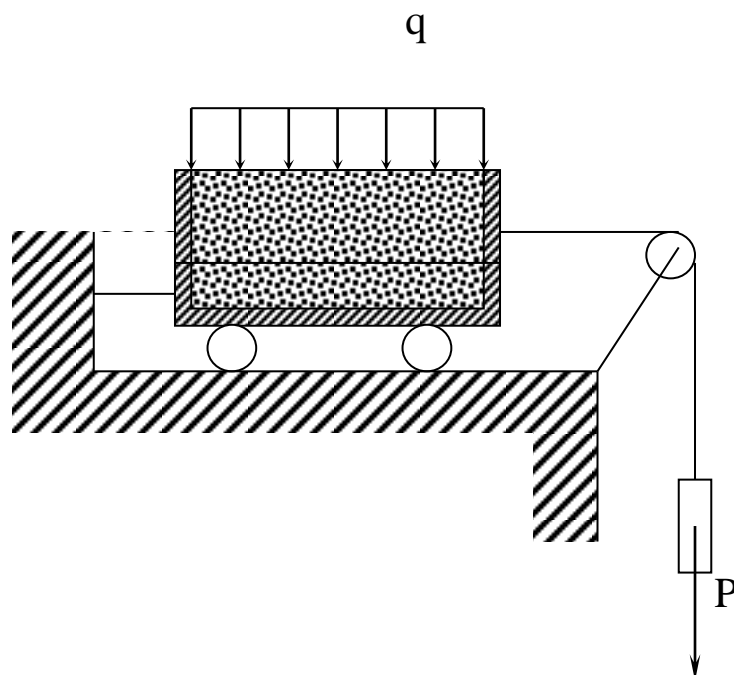


Рис. 7. Схема прибора

При сдвиге нормально уплотненных образцов каждый срез дает возможность получить точку на графике: по оси абсцисс откладывают нормальное давление  $\sigma$ , а по оси ординат – сдвигающее усилие  $\tau$  (рис. 8).

В результате получают зависимость, выражающуюся уравнением Кулона:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + C,$$

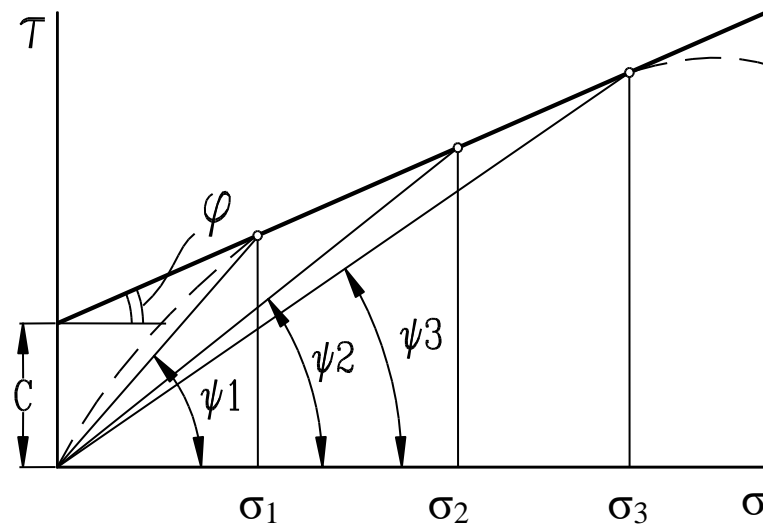
где  $C$  – сцепление, МПа;

$\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент трения;

$\sigma$  – нормальное давление на грунт МПа;



$\tau$  – сдвигающее усилие МПа.



**Рис. 8.** График сопротивления сдвигу для связных грунтов

Данные заносят в журнал, составленный по форме табл. 4.

Таблица 4

Вертик. давление $\sigma$ , МПа	Сдвиговое усилие $\tau$ , МПа	tg угла внутрен. трения $\varphi$	Сцепление $c$ , МПа	tg угла сдвига $\psi$	Углы сдвига, град.	
0,1	0,16	50	0,04	1,6	$\psi_1$	58
0,2	0,28			1,4	$\psi_2$	54
0,3	0,35			1,1	$\psi_3$	49

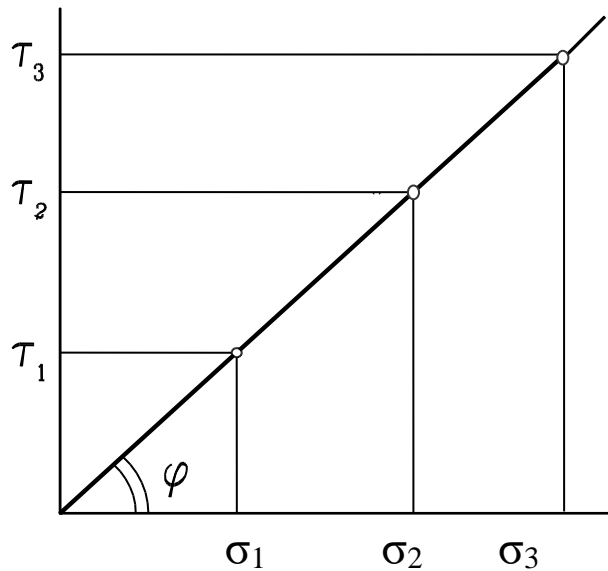
Прочностные характеристики грунта – угол внутреннего трения  $\varphi$ , град, и удельное сцепление  $c$ , МПа, получают по графику зависимости

$\tau = f(P)$ . При этом величину  $c$  определяют как отрезок, отсекаемый прямой  $\tau = f(P)$  на оси ординат, а тангенс угла наклона этой прямой к оси абсцисс есть тангенс угла внутреннего трения  $\varphi$ . Нормативные и расчетные значения  $c$  и  $\varphi$  следует устанавливать в соответствии с требованиями ГОСТ [7] и СНиП [6].

В несвязных грунтах силы сцепления ничтожны и их принимают равными 0, тогда уравнение Кулона приобретает вид

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi.$$

Графически эта зависимость изображается прямой, проходящей через начало координат (рис. 9).



**Рис. 9.** График сопротивления сдвигу для несвязных грунтов:  
 $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  – сдвигающие усилия;  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – нормальные давления;  
 $\varphi$  – угол внутреннего трения

На сопротивление сдвигу существенно влияет степень уплотненности песков; при более плотной укладке частиц сопротивление сдвигу возрастает за счет трения взаимно прижатых поверхностей и зацепления частиц.

## Библиографический список

1. Малышев М.В., Болдырев Г.Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах): Учеб. пособие.- М. : АСВ, 2000.
2. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): Учеб. для вузов.- 2-е изд. доп. - М.: Высш. шк., 1973.
3. Мурзенко Ю.Н. Инновационные технологии в высшем строительном образовании: Моногр. / Новочерк. гос. техн. ун-т. - Новочеркасск: НГТУ, 1998.
4. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов.- М.: Недра, 1975.
5. СНиП 2.02.01 – 83.\*) Основания зданий и сооружений/ Госстрой СССР.- М.: Стройиздат, 1985.
6. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты.-М.: Стройиздат, 1981.
7. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.- М.: Изд-во стандартов, 2000.

Учебное издание

**Методические указания к лабораторным работам  
по дисциплине «Механика грунтов»**

Составители: Ульбиева Ирина Салаховна,  
Ужахов Кархан Мочкивич

2018 г.

Подписано в печать г. Формат 60\*84 1/16.

Бумага офсетная. Печать оперативная.

Печ. л. 1,63 Уч. – изд. л. 1,5 Тираж 50.

---

ФГБОУ ВО «ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Редакционно-издательский отдел

Адрес университета: 386001, Магас,