

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)

Кафедра «Инженерная геология, основания и фундаменты»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО МЕХАНИКЕ ГРУНТОВ  
ЧАСТЬ 2

Ростов-на-Дону  
ДГТУ  
2019

УДК 624.131.372

Составители: А.В. Чмшкян. М.В. Кузнецов

Методические указания к лабораторным работам по механике грунтов Ч.2. – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2019. – 14 с.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», выполняющих лабораторные работы по механике грунтов, определению характеристик прочности и деформируемости грунтов.

УДК 624.131.372

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Инженерная геология, основания и фундаменты» д-р техн. наук, профессор А.Ю.Прокопов

Подписано в печать 16.04.2019.  
Формат 60x84/16. Объем 0,9 усл. п. л.  
Тираж 50 экз. Заказ 579

---

Редакционно-издательский центр ДГТУ  
Адрес университета и полиграфического предприятия:  
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный  
технический университет, 2019

Характеристики прочности и деформируемости дисперсных грунтов определяются различными полевыми и лабораторными методами. Выбор метода зависит от стадий проектирования, уровня ответственности здания, грунтовых условий и т.д.

Лабораторные испытания проводятся на образцах грунта природного сложения и влажности (монолитах), отбираемых из шурфов или скважин в соответствии с ГОСТ 12071-2014. Перед проведением испытаний должны быть определены необходимые физические характеристики грунта по ГОСТ 5180-2015. Общие требования к лабораторным испытаниям грунтов, оборудованию и приборам приведены в ГОСТ 30416-2012.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ГРУНТОВ**  
**МЕТОДОМ КОМПРЕССИОННОГО СЖАТИЯ**  
**(ГОСТ 12248-2010)**

В данной лабораторной работе рассматривается испытание дисперсных грунтов методом компрессионного сжатия для определения характеристик деформируемости: коэффициента сжимаемости  $m_0$  и модуля деформации  $E$ . Для просадочных грунтов в ходе компрессионных испытаний определяются также относительная просадочность  $\varepsilon_{sl}$  и начальное просадочное давление  $P_{sl}$  (ГОСТ 23161-2012).

Испытания грунтов проводятся в компрессионных приборах (одометрах), исключающих возможность бокового расширения грунта при нагружении. Существует несколько моделей компрессионных приборов. В грунтоведческой лаборатории кафедры ИГОФ используются приборы марки КП<sub>р</sub>-3М. Диапазон давлений, при которых проводят испытания, принимается исходя из проектного давления на грунт. Грунт может испытываться при природной влажности или при водонасыщении. Для замачивания грунта разрешается использовать воду питьевого качества или грунтовую воду с места отбора образца.

### Проведение испытаний

1. Рабочее кольцо одометра вдавливают в монолит грунта. Грунт должен полностью заполнить внутренний объем кольца, после чего кольцо отделяется ножом от монолита.
2. Кольцо с грунтом взвешивают, покрывают с торцов влажными фильтрами и помещают в одометр.
3. Сверху на образец устанавливается перфорированный штамп, закрепляются индикаторы для измерения деформаций, устанавливается система нагружения, записываются начальные показания индикаторов.
4. При необходимости проводят водонасыщение образца путем подачи воды снизу. Водонасыщение глинистых грунтов проводят в течение 2-3 сут.
5. Нагружение образца производят ступенями. Первую ступень давления  $p_1$  при испытании принимают в зависимости от коэффициента пористости  $e$  грунта по табл.1.

Таблица 1

$e$	$e \geq 0,75$	$0,75 > e > 0,60$	$e \leq 0,60$
$p_1$	0,0125	0,025	0,05

Последующие ступени давления  $p_i$  принимают равными 0,025; 0,05; 0,1 МПа и далее с интервалом 0,1 МПа до заданного значения нагрузки.

6. На каждой ступени нагружения по индикаторам снимаются отсчеты вертикальной деформации образца. После приложения нагрузки отсчеты снимают через: 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 10; 20; 30 мин и далее с интервалом 1 ч до условной стабилизации деформаций. За условную стабилизацию принимают скорость деформаций образца 0,01 мм за последние 4 ч для песков, 16 ч – для глинистых и 24 ч – для органо-минеральных грунтов.

7. В необходимых случаях может быть произведена разгрузка образца грунта в последовательности, обратной нагружению.

## Определение характеристик просадочности (ГОСТ 23161-2012)

1. Испытания просадочных грунтов в компрессионных приборах следует выполнять по схемам:

- «одной кривой» - для определения  $\varepsilon_{sl}$  при заданной величине давления;
- «двух кривых» - для определения  $\varepsilon_{sl}$  при разных давлениях и определения  $p_{sl}$ .

2. При испытаниях по схеме «одной кривой» нагрузку на образец грунта с природной влажностью доводят ступенями до заданного давления  $p$ . Величину  $p$  следует принимать равной суммарному давлению от собственного веса грунта в водонасыщенном состоянии и от проектируемого фундамента или только от веса грунта.

3. После условной стабилизации деформации от давления  $p$  образец грунта замачивают. Наблюдения за деформациями ведут до условной стабилизации просадки.

4. Испытания по схеме «двух кривых» проводят на двух образцах грунта, отобранных из одного монолита. Один образец испытывают на сжимаемость при естественной влажности, второй образец до приложения нагрузки замачивают до полного водонасыщения. Замачивание начинают не менее чем за 3 часа до приложения нагрузки при испытании супесей, и 6 часов – при испытаниях суглинков и глин. Затем оба образца нагружают ступенями до  $p$ . Образцы грунта не должны отличаться по  $\rho_d$  более чем на  $0,03 \text{ г/см}^3$  и по  $W$  не более чем на 2%.

### Обработка результатов испытаний

1. Для каждой ступени нагрузки вычисляют:

- абсолютную вертикальную стабилизированную деформацию образца грунта  $\Delta h$  мм, с точностью до 0,01 мм как среднее арифметическое показаний двух индикаторов за вычетом поправки на деформацию одометра;

- относительную вертикальную деформацию с точностью до 0,001

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h}{h}, \quad (1)$$

где  $h$  – начальная высота образца, мм.

2. По вычисленным значениям строят график  $\varepsilon=f(P)$  (рис.1).

3. Вычисляют коэффициенты пористости  $e_i$  грунта при давлениях  $P_i$  по формуле

$$e_i = e_0 - \varepsilon_i(1 + e_0). \quad (2)$$

4. Вычисляют коэффициент сжимаемости  $m_0$  для заданного интервала давлений

$$m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i}. \quad (3)$$

5. Вычисляют с точностью до 0,1 МПа модуль деформации

$$E = \frac{P_{i+1} - P_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i} \cdot \beta \quad (4)$$

$$\text{или } E = \frac{1 + e_0}{m_0} \cdot \beta, \quad (5)$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта и вычисляемый по формуле

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}, \quad (6)$$

где  $\nu$  – коэффициент поперечной деформации (Пуассона), определяемый в приборах трехосного сжатия.

Допускается принимать  $\nu = 0,30 - 0,35$  для песков и супесей;

$\nu = 0,35 - 0,37$  для суглинков;

$\nu = 0,30 - 0,38$  для глин при  $0 \leq I_L \leq 0,25$ ;

$\nu = 0,38 - 0,45$  для глин при  $0,25 \leq I_L \leq 1$ .

При этом меньшие значения  $\nu$  принимаются при большей плотности грунта.

6. Полученные значения компрессионного модуля деформации должны корректироваться путем их сопоставления с результатами параллельно

проводимых испытаний того же грунта штампами. Сопоставительные испытания обязательны при проектировании зданий I-II уровня. Для зданий и сооружений III уровня допускается использовать корректирующий коэффициент  $m_k$ , полученный в результате статистической обработки результатов массовых испытаний (табл.2).

7. Относительную просадочность  $\varepsilon_{sl}$  при испытании по методам одной и двух кривых следует определять по формуле

$$\varepsilon_{sl} = \frac{h_{n,p} - h_{sat,p}}{h_{n,g}}, \quad (7)$$

где  $h_{n,p}$   $h_{sat,p}$  – высоты образца соответственно природной влажности и после его полного водонасыщения ( $W=W_{sat}$ ) при заданном давлении  $P$ ;

$h_{n,g}$  – высота образца грунта при давлении, равном напряжению от собственного веса грунта на глубине отбора образца ( $P = \sigma_{zg}$ ).

Таблица 2

Значения коэффициента  $m_k$  для Ростовской области  
в зависимости от показателя текучести грунта  $I_L$   
компрессионного модуля деформации  $E$

$E \backslash I_L$	$<0$	$0 - 0,25$	$0,25 - 0,50$	$0,50 - 0,75$
1				5,5
3	7,0	4,5	3,0	2,0
5	4,0	2,5	1,5	1,0
7	2,5	1,5	1,0	0,8
9	2,0	1,0	0,5	
11	1,5	0,7	0,5	
13	1,0	0,5		
15	0,5			

8. По значениям  $\varepsilon_{sl}$  строят график зависимости  $\varepsilon_{sl} = f(P)$ .

9. Начальное просадочное давление  $p_{sl}$  определяют по графику  $\varepsilon_{sl} = f(p)$  как давление, при котором  $\varepsilon_{sl} = 0,01$ .

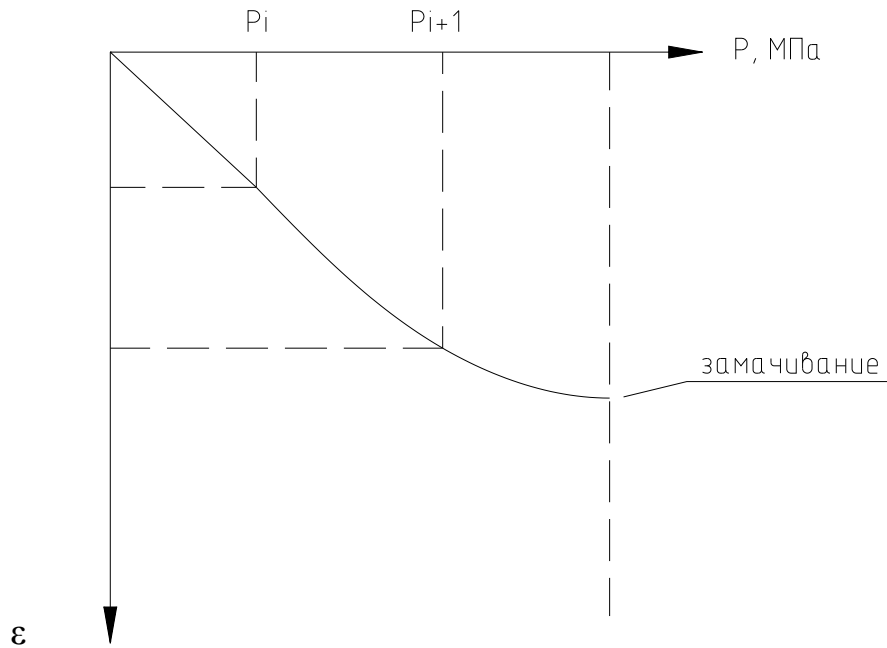


Рис.1. Компрессионная кривая сжатия просадочного грунта

Результаты испытаний сводят в табл. 3

Таблица 3

$p$ , МПа	$\Delta h$ , мм	$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h}$	$e$	$m_0$	$E$ , МПа

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ МЕТОДОМ ОДНОПЛОСКОСТНОГО СРЕЗА

Испытания грунтов методом одноплоскостного среза проводят для определения сопротивления грунта срезу  $\tau$ , угла внутреннего трения  $\varphi$ , удельного сцепления  $C$  для песков, глинистых и органоминеральных грунтов.

Сопротивление грунта срезу определяют как предельное касательное напряжение, при котором образец грунта срезается по фиксированной плоскости при заданном нормальном давлении. Для определения  $C$  и  $\varphi$  необходимо провести не менее трех испытаний при различных значениях нормального давления  $\sigma$ .



Испытания проводят по следующим схемам:

- консолидировано-дренированное испытание – для песков и глинистых грунтов независимо от их степени влажности в стабилизированном состоянии;
- неконсолидировано-недренированное испытание – для водонасыщенных глинистых и органоминеральных грунтов в нестабилизированном состоянии, а так же просадочных грунтов, предварительно водонасыщенных без приложения нагрузки.

Существует несколько моделей приборов для одноплоскостного среза. В грунтоведческой лаборатории кафедры ИГОФ используются приборы модели Гидропроекта.

При необходимости предварительного уплотнения образцов применяют уплотнители, позволяющие выдерживать образец под заданным давлением в условиях природной влажности или полного водонасыщения.

#### Подготовка к испытанию

1. Рабочее кольцо прибора задавлируется в монолит грунта до полного заполнения внутреннего объема. Кольцо с грунтом взвешивается, торцы закрывают влажными бумажными фильтрами. Из монолита вырезается 3 кольца.

2. Если требуется предварительное уплотнение образцов, то кольцо помещается в обойму уплотнителя, сверху устанавливается перфорированный штамп и механизм нагрузки, закрепляется индикатор для измерения вертикальной деформации и записываются начальные показания.

3. Если требуется предварительное водонасыщение образцов, то оно выполняется в уплотнителе.

4. Время замачивания и уплотнения должно быть не менее указанного в табл. 4.

Таблица 4

Грунты	Время водонасыщения	Время выдерживания ступеней	Время условной стабилизации на конечной ступени
Пески	10 мин	5 мин	20 мин
Глинистые			
Супеси	3 ч		2 ч
Суглинки $I_p < 12$	6 ч		6 ч
“ $I_p > 12$	12 ч	30 мин	12 ч
Глины $I_p < 22$	12 ч		12 ч
“ $I_p > 22$	36 ч		12 ч

### Консолидировано-дренированные испытания

1. Предварительное уплотнение образца производят при тех нормальных давлениях  $\sigma$ , при которых определяют сопротивление срезу  $\tau$ . Давление передают на грунт ступенями  $\Delta \sigma$  (табл. 5).

Таблица 5

Грунты	$\sigma$ , МПа	$\Delta \sigma$ , МПа
Пески средние плотные, глины с $I_L < 0$	0,1; 0,3; 0,5	0,1
Пески средней крупности и плотности, пески мелкие плотные, супеси и суглинки с $I_L \leq 0,5$ , глины с $0 < I_L < 0,5$	0,1; 0,2; 0,3	0,05
Пески средние и мелкие рыхлые, пески пылеватые, глинистые с $I_L > 0,5$	0,1; 0,15; 0,2	0,025 до $P = 0,1$ и далее 0,05

Каждую ступень выдерживают в течение времени, указанного в табл. 4, а конечную ступень – до достижения условной стабилизации. При этом фиксируется величина вертикальной деформации.

2. После предварительного уплотнения следует быстро перенести рабочее кольцо в срезную коробку. Установить на него штамп, механизм нагрузки, установить зазор 0,5 – 1 мм между подвижной и неподвижной частями срезной коробки.

3. На образец грунта передают то же нормальное давление, при котором происходит предварительное уплотнение. Нормальное давление передают в одну ступень и выдерживают ее не менее:

5 мин – для песков;

15 мин – для супесей;

30 мин – для суглинков и глин.

4. Приводят в рабочее состояние механизм передачи касательной нагрузки, устанавливают индикатор для измерения деформации среза и записывают его начальные показания.

5. При передаче касательной нагрузки ступенями их величина должна составлять 5% от нормальной нагрузки. На каждой ступени фиксируется деформация среза через каждые 2 мин. За условную стабилизацию принимается скорость деформации среза не более 0,01 мм/мин.

6. При непрерывно возрастающей касательной нагрузке скорость среза должна быть постоянной (табл. 6).

Таблица 6

Грунты	Скорость среза, мм/мин
Пески	$\leq 0,5$
Супеси	$\leq 0,1$
Суглинки	$\leq 0,05$
Глины $I_p \leq 30$	
Глины $I_p > 30$	$\leq 0,01$

7. Испытание считается законченным, если при приложении очередной ступени касательной нагрузки происходит мгновенный срез образца или общая деформация среза превышает 5 мм.

При постоянной скорости среза за окончание испытания принимают момент, когда срезающая нагрузка перестает возрастать, или общая деформация среза превысит 5 мм.

#### Неконсолидировано-недренированные испытания

1. Рабочее кольцо с грунтом помещают в срезную коробку, сверху устанавливают штамп и механизм нормальной нагрузки, устанавливают зазор 0,5 – 1 мм между подвижной и неподвижной частями срезной коробки, закрепляют индикатор для измерения деформации среза и фиксируют его начальные показания.

2. На образец грунта передают в одну ступень нормальное давление  $\sigma$ , при котором будет производиться срез (табл. 7).

Таблица 7

Грунты	$\sigma$ , МПа
Глинистые и органоминеральные непросадочные с показателем текучести $I_L < 0,5$ $0,5 \leq I_L \leq 1$ $I_L \geq 1$	0,1; 0,15; 0,2 0,05; 0,1; 0,15 0,25; 0,75; 0,125
Просадочные, испытываемые в водонасыщенном состоянии	0,1; 0,2; 0,3;

3. Сразу после передачи нормальной нагрузки приводят в действие механизм создания касательной нагрузки и производят срез грунта не более чем за 2 мин. При приложении касательной нагрузки ступенями их величина не должна превышать 10% от нормальной нагрузки, приложение ступеней должно следовать через каждые 10-15 с.

При передаче непрерывно возрастающей касательной нагрузки скорость среза принимают 2-3 мм/мин.

4. Момент окончания испытания устанавливают так же.

### Обработка результатов

1. Вычислить касательные  $\tau$  и нормальные  $\sigma$  напряжения, МПа, по формулам:

$$\tau = \frac{\Theta}{A}; \quad \sigma = \frac{F}{A}, \quad (8)$$

где  $\Theta$  и  $F$  – соответственно касательная и нормальная силы к плоскости среза, кН (1 кН/см<sup>2</sup> – 10 МПа);

$A$  – площадь среза, см<sup>2</sup>.

Из каждого значения  $\tau$  вычитают поправку за счет трения в приборе.

2. По измеренным деформациям среза  $\Delta l$  построить график

$$\Delta l = f(\tau). \quad (9)$$

3. Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельного сцепления  $C$  определяют как параметры линейной зависимости

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + C. \quad (10)$$

Значения  $\operatorname{tg} \varphi$  и  $C$  определяются методом наименьших квадратов:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n \sum \sigma y_i}{n \sum y_i^2} \frac{\sum \sigma \sum y_i}{(\sum y_i)^2}; \quad (11)$$

$$C = \frac{\sum \sigma \sum y_i^2}{n \sum y_i^2} \frac{\sum y_i \sum \sigma y_i}{(\sum y_i)^2}. \quad (12)$$

4. Строится график зависимости  $\tau = f(\sigma)$  (рис.2).

5. Результаты испытания сводятся в табл. 8

Таблица 8

№ опыта	$\sigma$ , МПа	$\tau$ , МПа	$C$ , МПа	$\operatorname{tg} \varphi$	$\varphi$ , град
1					
2					
3					

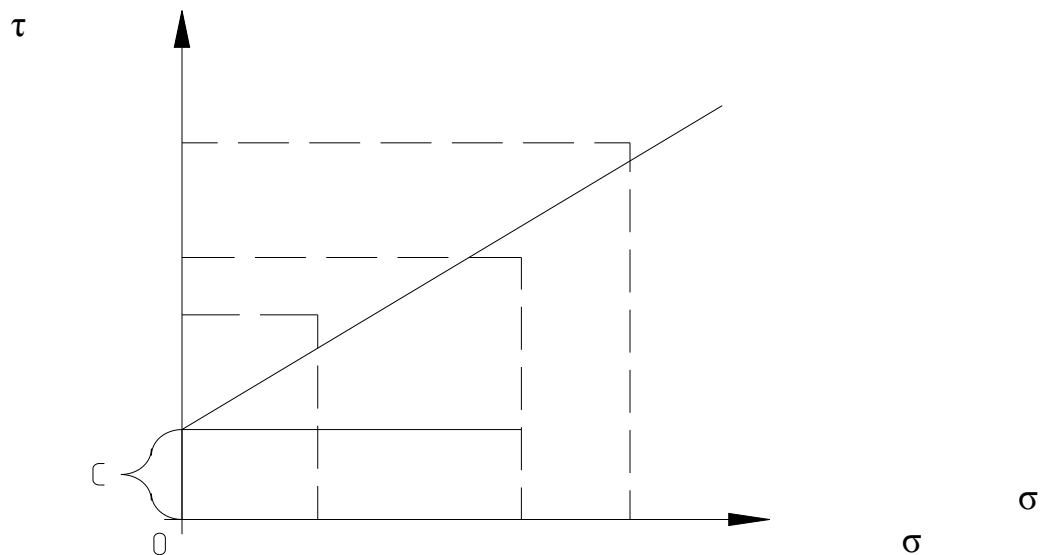


Рис.2. График зависимости  $\tau = f(\sigma)$

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.
2. ГОСТ 30416-2012. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.
3. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
4. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
5. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
6. ГОСТ 12071-2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.
7. ГОСТ 23161-2012. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности.