

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ В ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Гордеев А.В., Болдырев Г.Г.

(Пензенский государственный архитектурно-строительный университет)

## 1. Общие положения

Согласно СП 50-100-2004 [1] (п.5.3.6) для сооружений первого и второго уровня ответственности значения модуля деформации определенные по лабораторным данным должны уточняться на основе их сопоставления с результатами параллельно проводимых испытаний того же грунта штампами.

Как правило, в большинстве случаев, при проведении инженерно-геологических изысканий модуль деформации грунтов определяется в лаборатории с использованием компрессионных приборов. Один из таких приборов (рис. 1 а) в составе измерительно-вычислительного комплекса АСИС выпускается ООО «Геотек» [2]. Методика определения компрессионного модуля деформации приведена в ГОСТ 12248-96 [3], хорошо известна и используется на практике в течение не менее 40 лет.

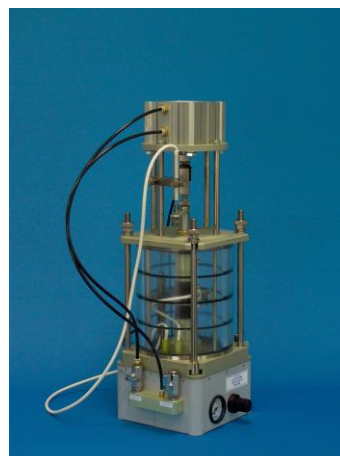


Рис. 1. Приборы для испытания образцов грунта, конструкции ООО «Геотек»: а – компрессионный прибор; б – прибор трехосного сжатия (стабилометр)

Известно также [4], что значения компрессионного модуля деформации, оказываются ниже модуля деформации, определяемого в полевых условиях путем нагружения массива грунта жестким круглым или квадратным штампом. В связи с тем, что при проектировании фундаментов, в частности при расчете осадки с использованием расчетной схемы в виде линейно-деформируемого полупространства [1], используется штамповый модуль деформации, то рекомендуется [5] значения компрессионного модуля деформации привести к расчетному, используя результаты штамповых испытаний. Для этого используется следующее выражение:

$$E = m_k E_{oed}, \quad (1)$$

где  $m_k = E_{um} / E_{oed}$  - коэффициент перехода определяемый из сопоставительных опытов;  $E_{um}$  - значение штампового модуля деформации;  $E_{oed}$  - значение компрессионного модуля деформации, определяемого в интервале давлений 0,1 – 0,2 МПа.

Для четвертичных супесей, суглинков и глин при показателе текучести  $I_L \leq 0,75$  значение коэффициента перехода (корректирующего коэффициента)  $m_k$  изменяется от 2 до 6.

В последнее время, в особенности за рубежом, испытания образцов грунта выполняют не только в условиях компрессионного сжатия (одномерная деформация), но и в условиях трехосного сжатия (осесимметричная деформация). Для этой цели используются приборы трехосного сжатия, называемые в России стабилόμεтрами. Подобный тип приборов трехосного сжатия выпускается ООО «Геотек» (рис. 1 б). Метод испытания также приведен в ГОСТ 12248-96 [3].

Несмотря на большое количество испытаний, выполненные в условиях трехосного сжатия как за рубежом, так и в России до сих пор нет однозначного мнения о сопоставимости значений стабилόμεметрического модуля деформации и штампового модуля деформации. Однозначно то, что стабилόμεметрический модуль деформации более компрессионного модуля

деформации и ближе к штамповым значениям. В середине 60 гг. прошлого столетия в СССР проводились испытания с целью определения соотношения между штамповым и стабилметрическим модулем деформации. Однако, по ряду причин, использовать результаты этих испытаний невозможно как ввиду их малого объема, так и отсутствия доступа к публикациям. В работе Е.И.Медкова [6] приведены результаты испытаний, показанные на рис. 2. Как видно из приведенного рис. 2 значения

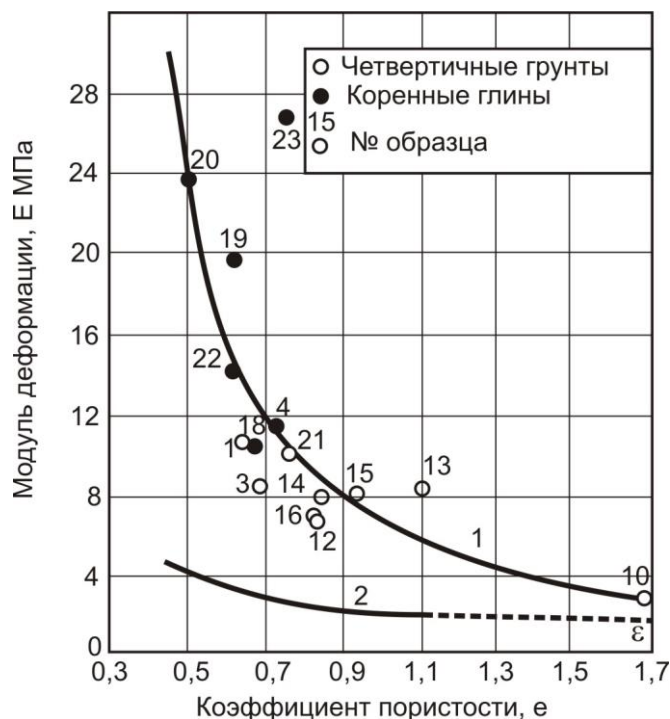


Рис. 2. Сопоставление результатов определения модуля деформации лабораторными и полевыми методами: 1 – полевые опыты по Агишеву; 2 – компрессионные опыты по Агишеву; кружочками – трехосные испытания по Медкову

стабилметрического модуля деформации практически совпадают с модулем деформации, который определен из штамповых испытаний. Из рис. 2 также видно, что с возрастанием коэффициента пористости значения модуля деформации, определенные различными методами сближаются.

Учитывая неоднозначность данного вопроса в лабораториях ПГУАС и ООО «Геотек» были проведены сравнительные опыты по определению модуля деформации различными методами.

Опыты проводились в несколько этапов как в лаборатории с образцами песчаного и глинистого грунтов, так и в полевых условиях нагружая массив грунта штампом.

## 2. Испытания песчаного грунта

### 2.1. Испытания песка штампом

Данные испытания были проведены в лотке размером 3х3х2,5 м в лаборатории кафедры «Основания и фундаменты» ПГУАС. Общий вид лотка и модели штампа показан на рис. 3. Плоский штамп размером в 30х40 см



Рис. 3. Лоток для испытания моделей фундаментов (а) и плоский штамп на поверхности песчаного основания (б)

устанавливался на основание из мелкозернистого пылеватого песка с плотностью  $1,6 \text{ г/см}^3$ . Песок уплотнялся послойно ручными трамбовками с контролем плотности каждого слоя. Мощность песка равна 2,5 м. В процессе ступенчатого нагружения гидравлическим домкратом измерялись осадка штампа и деформация поверхности песчаного основания. Для этой цели применялись прогибомеры и индикаторы часового типа. Результаты испытаний в виде зависимости «осадка – нагрузка» показаны на рис. 4.

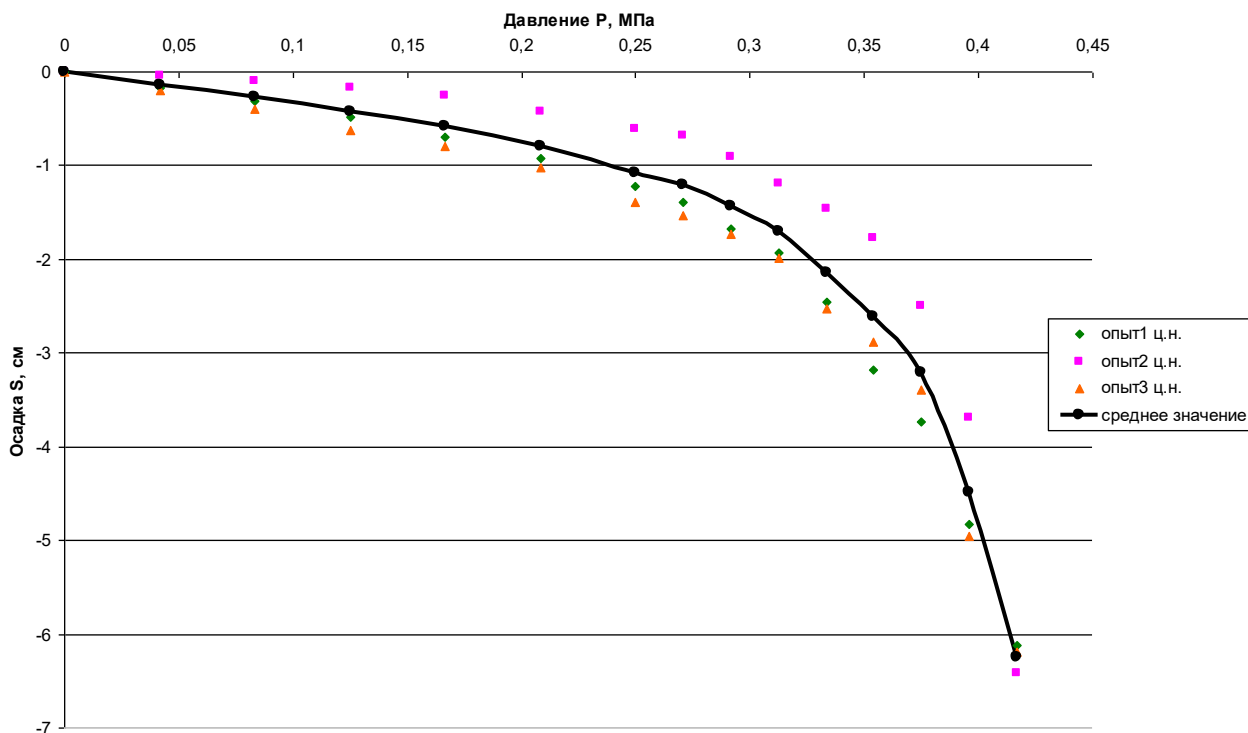


Рис. 4. Зависимость осадки штампа от давления

Выражение для определения модуля деформации, приведено в ГОСТ 20276-85 [7] для круглой в плане формы штампа. Это решение является частным случаем решения теории упругости (Ф.Шлейхер), которое имеет более общий вид:

$$s_{упр} = \frac{\omega pb(1 - \mu^2)}{E}, \quad (2)$$

где  $\omega$  - коэффициент формы площади подошвы и жесткости фундамента, определяемый по табл. V.2 [8] Как и в ГОСТ 20276-85 в этой таблице для круглого штампа коэффициент  $\omega = \omega_{const} = 0,79$ , для квадратного штампа, равен 0,88, а для прямоугольного зависит от отношения его сторон и равен в данном случае 1,05.

Используя выражение (2) определено значение модуля деформации в интервале давления 50 – 175 кПа, которое равно 10,0 МПа.

## 2.2. Испытания песка в компрессионном приборе

Испытания образцов песка с плотностью  $1,6 \text{ г/см}^3$  проводились в компрессионном приборе по методу ГОСТ 12248-96. Результаты испытаний показаны на рис. 5. Значения компрессионного модуля деформации приведены в табл. 1.

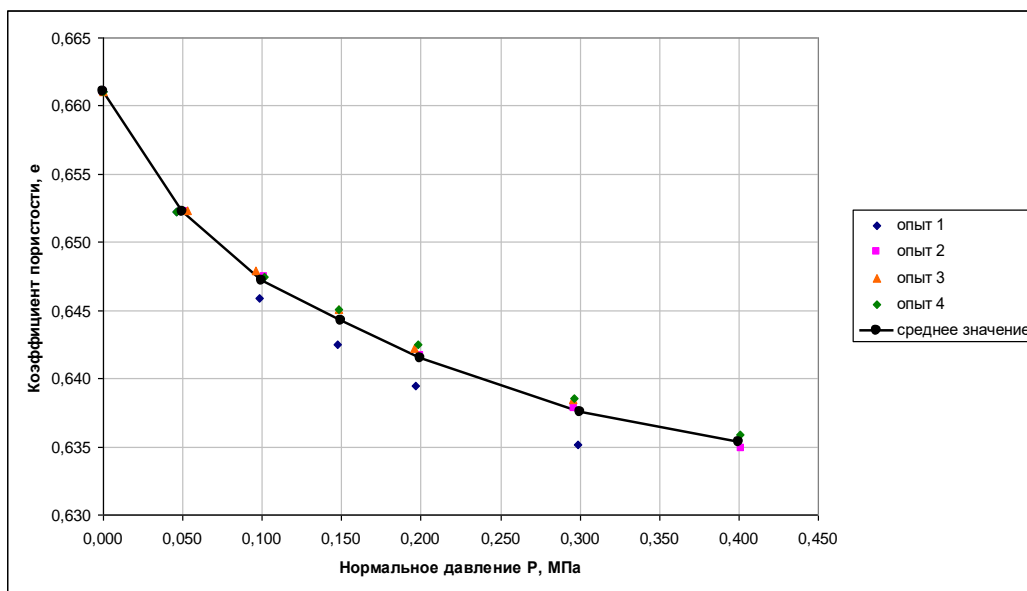


Рис. 5. Зависимость изменения коэффициента пористости от нормального давления

Табл. 1. Компрессионный модуль деформации

Нормальное давление P, МПа	Относительная вертикальная деформация образца, $e_1$	Модуль деформации E, МПа	Коэффициент пористости, e
0,00	0,00	-	0,661
0,05	0,005	7,72	0,652
0,1	0,008	13,85	0,647
0,2	0,012	23,92	0,641
0,3	0,014	34,91	0,638
0,4	0,015	50,63	0,635

### 2.3. Испытания песка в стабилометре

Эти испытания были проведены с образцами песка той же плотности, но в приборе трехосного сжатия при различном боковом давлении, равном 100, 200 и 300 кПа. Схема испытаний консолидировано-дренированная с использованием траектории сжатия. Методика испытаний по ГОСТ 12248-96. Результаты испытаний показаны на рис. 6, а значения модуля деформации приведены в табл. 2.

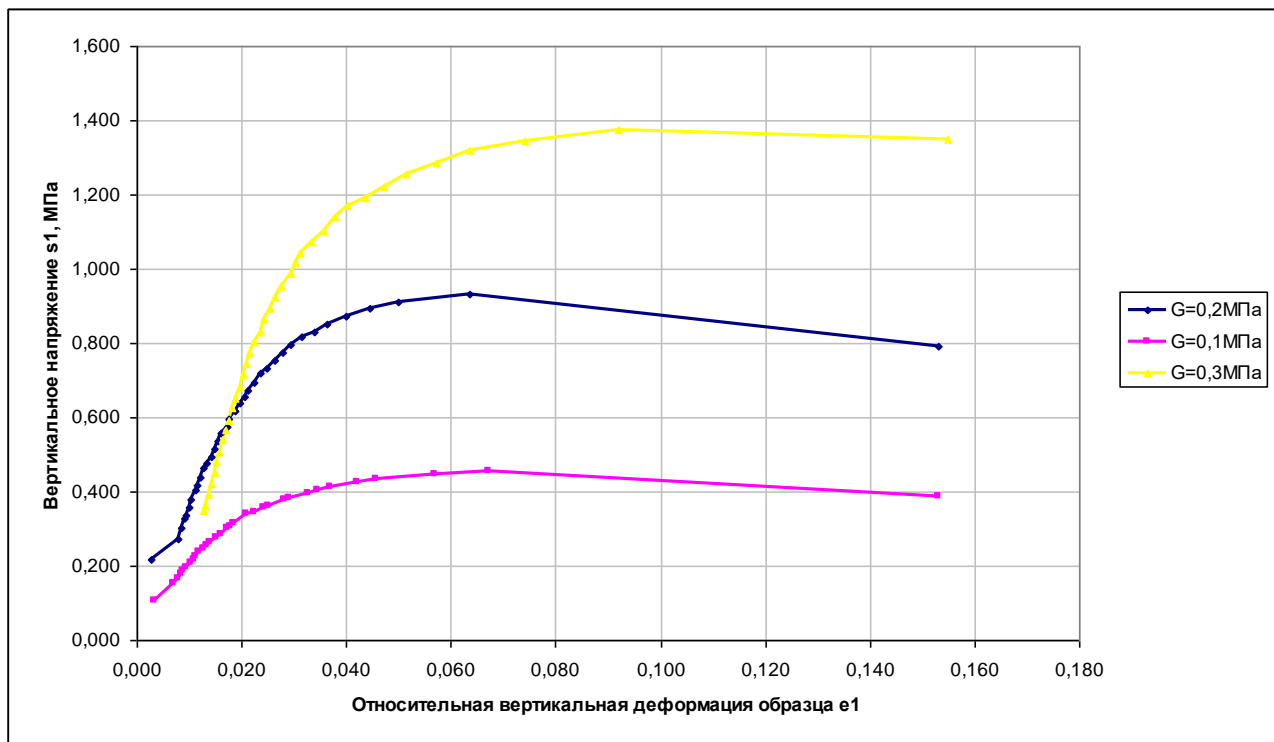


Рис. 6. Зависимость относительной вертикальной деформации от вертикального напряжения при постоянном боковом напряжении, равном 100, 200 и 300 кПа

Табл. 2. Значения стабилометрического модуля деформации

$\sigma_2 = \sigma_3$ , МПа	0,1	0,2	0,3
Ест, МПа	16,68	34,5	42,46
$\sigma_{max}$ , МПа	0,45	0,93	1,38

## 2.4. Сопоставление результатов испытаний

Компрессионный модуль деформации определяется в определенном интервале давления под штампом (фундаментом). Обычно, учитывая то, что давление под подошвой фундамента 5-10 этажных зданий не превышает 200 кПа рекомендуется находить модуль деформации из результатов компрессионных испытаний в интервале давления 100 – 200 кПа. Из табл. 1 находим значение модуля деформации, равное 23,92 МПа.

Стабилометрический модуль деформации определяется из отношения  $\Delta\sigma_1/\Delta\varepsilon_1$  участка прямолинейной зависимости «вертикальная деформация – вертикальное напряжение» и зависит от величины боковых ( $\sigma_2 = \sigma_3$ ) напряжений, что наглядно видно из табл. 2.

Таким образом, по результатам испытаний получены следующие значения модулей деформации: штамповый модуль – 10,0 МПа; компрессионный модуль – 23,92 МПа; стабилометрические модули – 16,7; 34,5 и 42,5 МПа. Эти значения не только отличаются друг от друга в 1,5 – 4 раза, но и более штампового модуля. Последнее противоречит общепринятой практике.

Обсуждая данные результаты следует иметь ввиду, что стабилометрические испытания проводятся в два этапа. На первом этапе выполняется консолидация образцов грунта уровнем бытовых напряжений, которые они испытывали до отбора монолитов. На втором этапе прикладывается девиатор напряжения вплоть до разрушения образца грунта. Бытовые напряжения определяются как произведение удельного веса грунта на глубину отбора монолита, т.е.  $\sigma_{\text{быт}} = \gamma \cdot z$ . Например, при боковом давлении в 100 кПа для песчаного основания в нашем случае бытовые напряжения должны быть равны  $100 = 16 \times 6,25$ , где 6,25 м глубина, на которой выполняется условие равенства боковых напряжений в стабилометре напряжениям от собственного веса грунта в массиве. Это возможно, если штамп будет заглублен в опытах также на глубину 6,25 м или вокруг штампа, установленного на поверхности, будет создана пригрузка в 100 кПа. Данные условия в штамповых опытах соблюдены не были. Штамп устанавливался на



поверхность песчаного основания, пригрузка отсутствовала. Из изложенного следует, что условия испытаний штампом и в стабилометре в данном случае не адекватны. Необходимо условия нагружения в стабилометре приблизить к

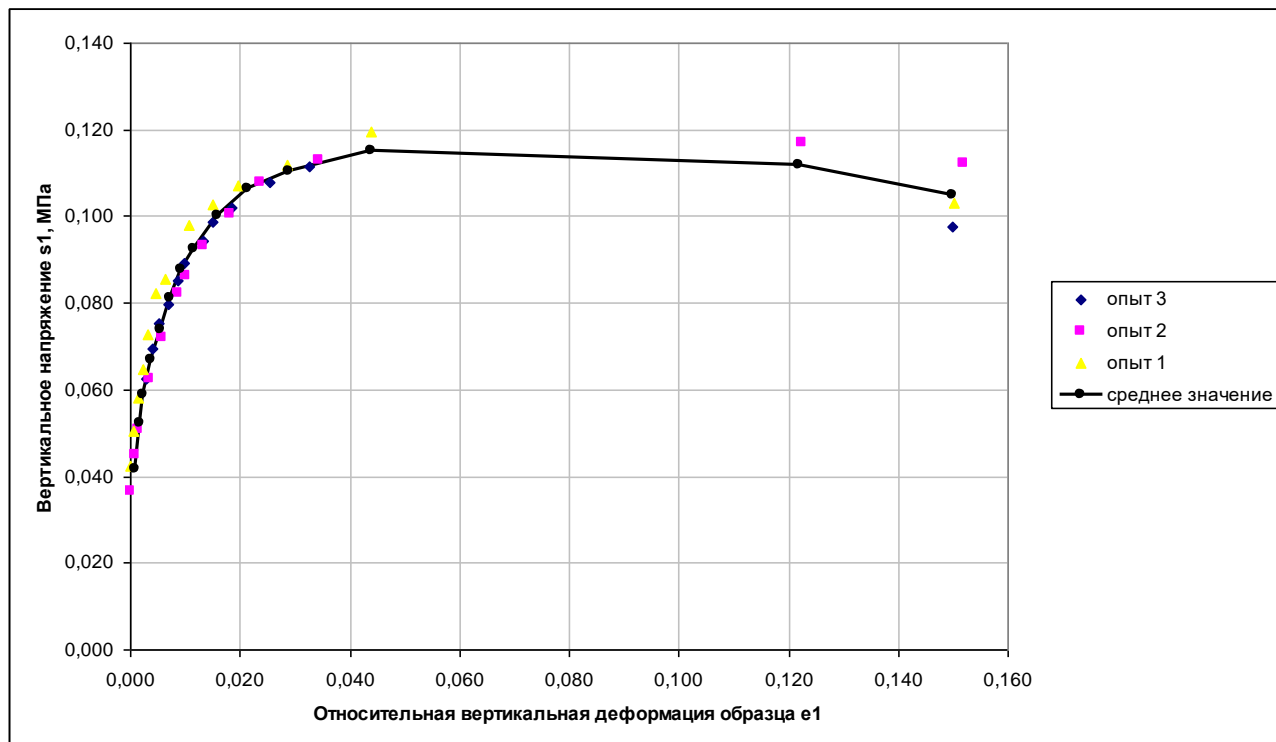


Рис. 7. Зависимость относительной вертикальной деформации от вертикального напряжения при постоянном боковом напряжении, равном 30 кПа

штамповым, а это возможно только при резком уменьшении боковых напряжений. С этой целью были проведены испытания песка в стабилометре при боковом давлении в 30 кПа, результаты которых показаны на рис. 7. Значение в 30 кПа принято исходя из технической возможности создания минимального бокового давления в рабочей камере стабилометра. В результате испытаний получено значение модуля деформации, равное 10,2 МПа, что совпадает с величиной штампового модуля деформации. Однако, величина компрессионного модуля деформации в интервале давлений 100 – 200 кПа, почти в 2,3 раза более этих значений. Для глинистых грунтов, наоборот, компрессионный модуль деформации всегда менее штампового или стабилометрического модуля деформации.

## Выводы:

1. Сравнение результатов штамповых и стабилметрических испытаний можно выполнять в том случае, если испытания в стабилметре выполнены при консолидации образцов грунта, давлением равным величине пригрузки вокруг штампа.
2. Величина пригрузки должна быть равна бытовому давлению на глубине заложения штампа.
3. Боковое давление в стабилметре при испытании образцов грунта должно быть равно бытовому давлению или давлению пригрузки вокруг штампа.

## Литература

1. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. М., 2005. – 131 с.
2. Измерительно-вычислительный комплекс АСИС. [www.geotek.ru](http://www.geotek.ru).
3. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М., 1997.
4. Агишев М.А. Зависимость между пористостью и модулем деформации, установленная полевыми испытаниями грунтов. Сб. №20 «Основания и фундаменты», М., Стройиздат, 1957.
5. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М., Стройиздат, 1985. – 480 с.
6. Медков Е.И. Практическое руководство к исследованию механических свойств грунтов с применением стабилметров типа М-2. М.-Л., Госэнергоиздат, 1959. – 183 с.
7. ГОСТ 20276-85. Методы полевого определения характеристик деформируемости. М., 1985.
8. Цытович Н.А. Механика грунтов. М., 1979. – 272 с.