

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ В КОМПРЕССИОННОМ ПРИБОРЕ С ИЗМЕРЕНИЕМ БОКОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Определение механических свойств грунтов - модуля деформации, угла внутреннего трения и сил удельного сцепления согласно ГОСТ 12248 – 96 /1/ рекомендуется выполнять с использованием трех методов. Метода компрессионного сжатия, метода одноплоскостного среза или метода трехосного сжатия. Ранее в работах /2,3,4/ была показана возможность определения ряда механических свойств грунтов в компрессионном приборе с измерением боковых напряжений. Общий вид данного прибора, конструкции ООО «Геотек» ([www.geotek.ru](http://www.geotek.ru)), показан на рис. 1.



Рис. 1. Компрессионный прибор с измерением боковых напряжений

Испытания образцов грунта проводятся в одном из двух режимов:

- режим ползучести (при постоянном вертикальном давлении);
- режим релаксации (при постоянной заданной деформации).

Исследования грунтов в условиях компрессионного сжатия с измерением бокового давления позволяют оценить:

- характер изменения напряженного состояния грунтового образца в процессе сжатия с определением среднего напряжения и интенсивности касательных напряжений;
- коэффициенты бокового давления  $\xi$  и поперечного расширения  $\nu$ ;
- параметры предельного состояния, сцепление -  $c$  и угол внутреннего трения  $\varphi$ ;
- модуль общей деформации  $E$  с уточнением коэффициента  $\beta$ .

Нагружение образцов грунта производится ступенями исходя из следующих условий:

Табл. 1

Глубина отбора образцов, м	Величина ступени вертикального давления, МПа
до 5	0,02
5 - 10	0,02 – 0,04
Более 10	0,05

За стабилизацию деформации сжатия образца принимается ее приращение, не превышающее 0,01 мм за последние 4 ч наблюдений для песков, 16 ч - для глинистых и 24 ч - для органоминеральных и органических грунтов.

В режиме релаксации нагружение образца грунта производится дискретно путем задания образцу принудительного перемещения. Выбор величины заданного перемещения определяется начальной плотностью грунта и назначается исходя из следующих условий.

Табл. 2

Вид грунта	Величина деформации, мм
Плотный песок, твердые и полутвердые глины	0,1 – 0,15
Пески средней плотности, глинистые грунты тугопластичные	0,15 – 0,25
Рыхлые пески, глинистые грунты мягкопластичные и текучепластичные	0,25 – 0,5

Каждую ступень заданного перемещения следует выдерживать до установления стабилизированных значений вертикальных и боковых давлений. За стабилизированное значение принимаются давления, которые

для песчаных грунтов сохраняются постоянными в течение последних 30 минут и для глинистых грунтов в течение последних 2 часов.

Коэффициент бокового давления определяется из выражения

$$\xi = \sigma_x / \sigma_z, \quad (1)$$

где  $\sigma_z$  – вертикальное давление;  $\sigma_x$  – горизонтальное, боковое давление.

Коэффициент поперечного расширения находят из формулы

$$\nu = \frac{\xi}{1 + \xi}. \quad (2)$$

Модуль деформации находят из выражения

$$E_i = (1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}) \frac{\sigma_z^i}{\varepsilon_z^i}, \quad (3)$$

где  $\sigma_z^i$  и  $\varepsilon_z^i$  - вертикальное давление и вертикальная деформация на  $i$ -ой ступени нагружения.

Среднее напряжение в образце определяют из уравнения

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_z + 2\sigma_x}{3}. \quad (4)$$

Интенсивность касательных напряжений находят из уравнения

$$\sigma_i = \frac{\sigma_z - \sigma_x}{\sqrt{3}}. \quad (5)$$

Структурную прочность глинистого грунта определяют используя зависимость  $\sigma_x = f(\sigma_z)$ , которая является билинейной. Значение вертикального давления  $\sigma_x$  в точке перелома соответствует структурной прочности грунта  $p_{стр}$  (см. рис. 2).

Параметры прочности определяются с использованием графо-аналитического построения кругов предельного равновесия Мора (рис. 3).

Для испытаний были вырезаны образцы глинистых грунтов из монолитов отобранных с глубины 1,5; 3 и 5 м от дна котлована строительной площадки вблизи реки Суры.

Испытание образцов глинистого грунта проводилось в два этапа. На первом этапе образцы нагружались вертикальной нагрузкой равной природному давлению, действующему на глубине отбора монолита. Нагрузка

выдерживалась в течение суток, а затем полностью снималась. Второй этап нагружения осуществлялся в соответствии с методикой приведенной ранее.

Результаты испытаний представлены на рис. 2, 3 и табл. 3. Необходимо отметить, что выполненные лабораторные испытания монолитов грунта отобранных с помощью колонковой трубы при бурении скважины следует рассматривать, как испытания образцов грунта нарушенной структуры, так как при бурении колонковой трубой существенно искажается начальное напряженное состояние.

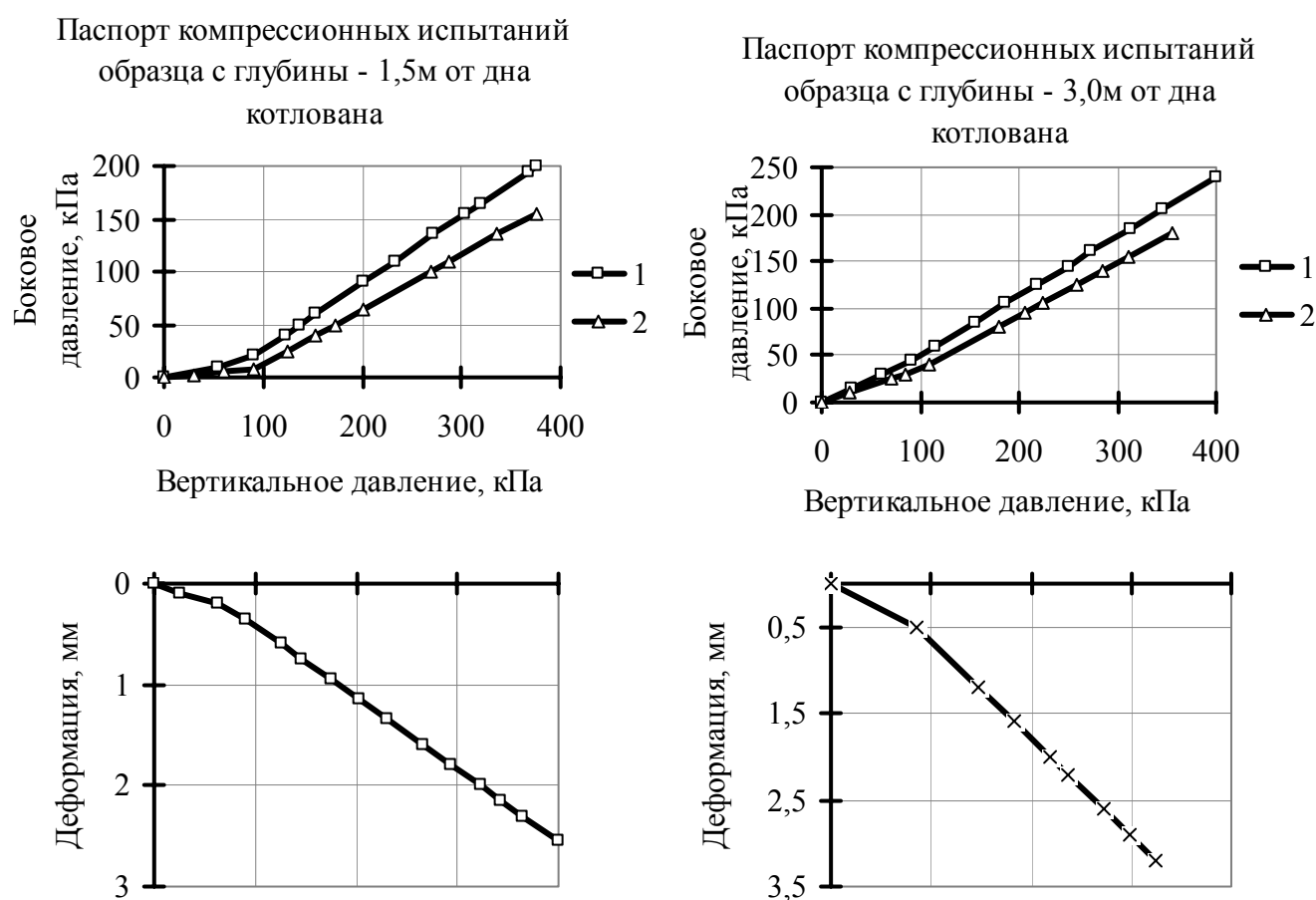


Рис. 2. Зависимость боковых напряжений от деформации грунта

Из рис. 2 видно, что для всех испытанных образцов грунта отобранных с различной глубины зависимость боковых напряжений от вертикальных напряжений является билинейной. Оба участка деформации являются практически линейными, но с различным углом наклона. Точка перегиба данной зависимости соответствует структурной прочности грунта  $p_{стр}$ .

Модуль деформации полученный из этих испытаний имеет два значения, первый характеризует деформируемость грунта при напряжениях менее

структурной прочности грунта,  $p_{сmp}$ , а второй при напряжениях в грунте от внешней нагрузки более структурной прочности грунта. Как видно из табл. 3 модуль деформации при напряжениях менее структурной прочности грунта почти в два раза более модуля деформации грунта при напряжениях превышающих структурную прочность грунта. Из рис. 2 видно, что величина структурной прочности глинистого грунта изменяется с глубиной.

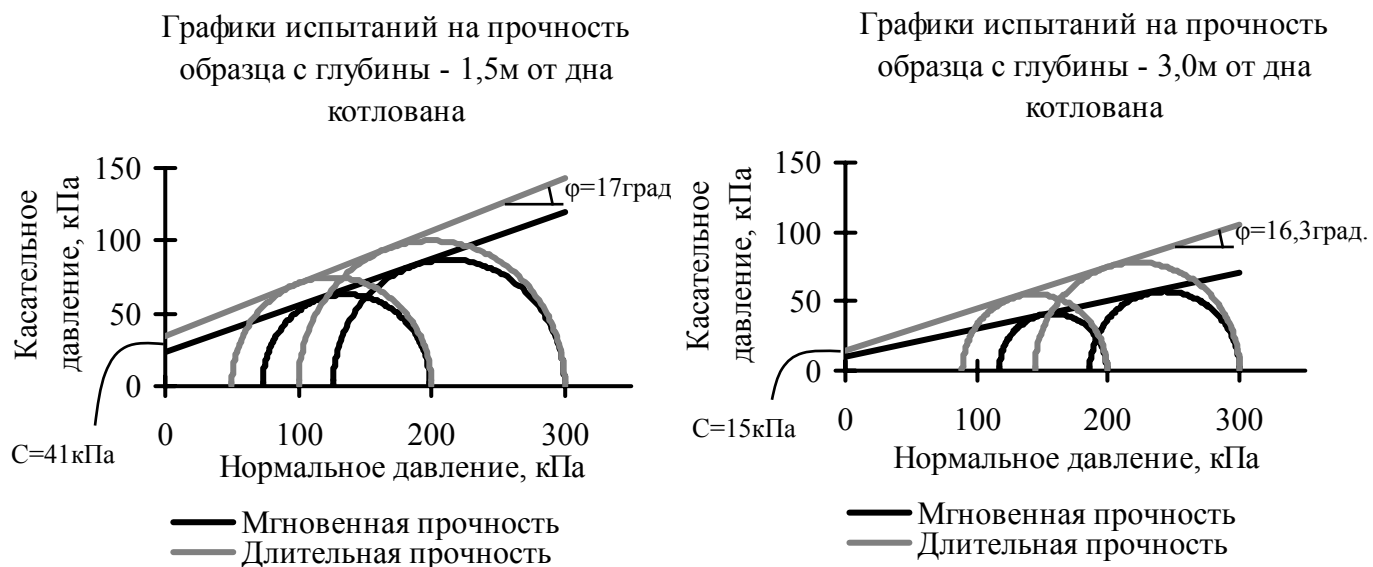


Рис. 3. Огибающие предельных напряжений

Во всех проведенных испытаниях в зависимостях  $\sigma_x = f(\sigma_z)$  и  $s = f(\sigma_z)$  наблюдаются два участка с различной интенсивностью приращения боковых давлений и осадки штампа прибора. Первый участок от 0 до нагрузки начального уплотнения характеризуется меньшим значением приращения  $\sigma_x$  и  $s$  с ростом  $\sigma_z$ , а второй участок с большей интенсивностью приращения  $\sigma_x$  и  $s$ . Значения модуля деформации для этих участков приведены в табл. 3.

Выполненные исследования показывают на то, что рассмотренная методика определения механических свойств грунтов в компрессионном приборе с измерением боковых напряжений позволяет определять не только деформационные, но и прочностные характеристики грунтов. Как было показано в работе /5/ значения параметров условия прочности Мора – Кулона полученные из рассмотренных испытаний совпадают с результатами испытаний на прямой срез.

Табл. 3 – Результаты испытаний в компрессионном приборе с измерением боковых напряжений

Глубина отбора от дна котлована	Коэффициент пористости	Давление предварительного уплотнения	Коэф. бокового давления		Коэф. бокового расширения		Параметры прочности		Модуль деформации, МПа	
			1-й участок	2-й участок	1-й участок	2-й участок	$\varphi$ , град.	$c$ , кПа	1-й участок	2-й участок
1,5	1,49	70	0,12	0,42	0,10	0,30	17	41	13,5	5,4
3,0	1,52	94	0,33	0,46	0,25	0,31	16	15	6,3	3,2
5,0	0,98	112	0,31	0,40	0,31	0,40	14	8	4,9	2,7

## Литература

1. ГОСТ 12248 – 96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М., 1997.

2. Сидорчук В.Ф., Иванов М.Ю., Исаев А.А. Динамометрический зонд с измерением общих и нейтральных напряжений. Геотехника-99. Сб. материалов международной научно-практической конференции. Пенза, 1999, с. 125 – 127.

3. Лазебник Г.Е., Смирнов А.А., Симаков В.И. Экспериментальное определение коэффициента бокового давления и коэффициента Пуассона несвязных грунтов. Основания, фундаменты и механика грунтов, 1967, №4.

4. Голли А.В. Мониторинг напряженно-деформированного состояния грунтов в основании сооружений. Реконструкция городов и геотехническое строительство. Санкт-Петербург, № 5, 2003, с. 128 – 132.

5. Жамбакина З.М. Экспериментальное изучение связи коэффициента бокового давления с прочностными свойствами грунта. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. М., МИСИ, 1989.