

## Трехосное сжатие

### Общие положения

Вопросы сопротивления грунтов сдвигу в приборах трехосного сжатия стали изучаться примерно с 1931 года благодаря работам Г.Б.Яппу (1931 и 1936) /1,2/. В этих работах рассмотрена методика определения коэффициента внутреннего трения и сцепления грунтов методом трехосного сжатия в приборе конструкции Н.Н.Давиденкова. Этот же метод определения коэффициента внутреннего трения и сцепления в приборе конструкции Булычева был применен в работе /3/ при испытании лессовидных грунтов. В работе А.И.Боткина /4/ приведено описание конструкции прибора по идее, представляющей дальнейшее развитие приборов Н.Н.Давиденкова и Г.Б.Яппу. Прибор Боткина в отличие от приборов двух последних авторов позволяет определять все главные напряжения в грунте.

Испытания цилиндрических образцов грунта проводится в условиях осесимметричной деформации, в рабочей камере, схема которой показана на рис. 1 а. Образец грунта имеет отношение высоты (H) к диаметру (D), как правило, не менее 2. Обычно диаметр образцов принимается равным 38 или 50 мм, значительно реже, диаметром 100 мм. Известны конструкции приборов для испытания крупнообломочных грунтов с диаметром в 200 мм (ЛИИЖТ, НИС Гидропроекта).

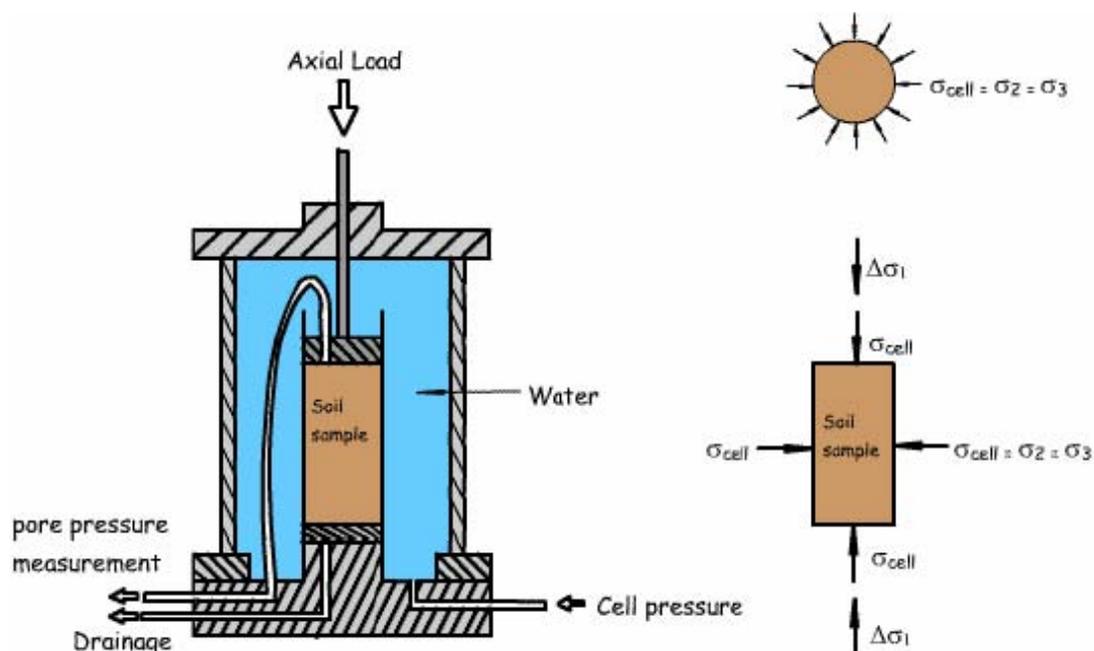


Рис. 1. Конструкция рабочей камеры (а) и схема нагружения образца грунта (б)

На рис. 2 показана конструкция приборов трехосного сжатия производства ООО «ГЕОТЕК». Прибор типа А используется при определении прочностных и деформационных характеристик песчаных и глинистых грунтов в условиях предварительного изотропного обжатия (консолидации), т.е. когда  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ . Прибор типа Б рекомендуется использовать при определении прочностных и деформационных характеристик грунтов в условиях предварительной анизотропной консолидации, т.е. когда  $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$ . В последнем приборе возможно проведение испытаний и в условиях изотропного сжатия.

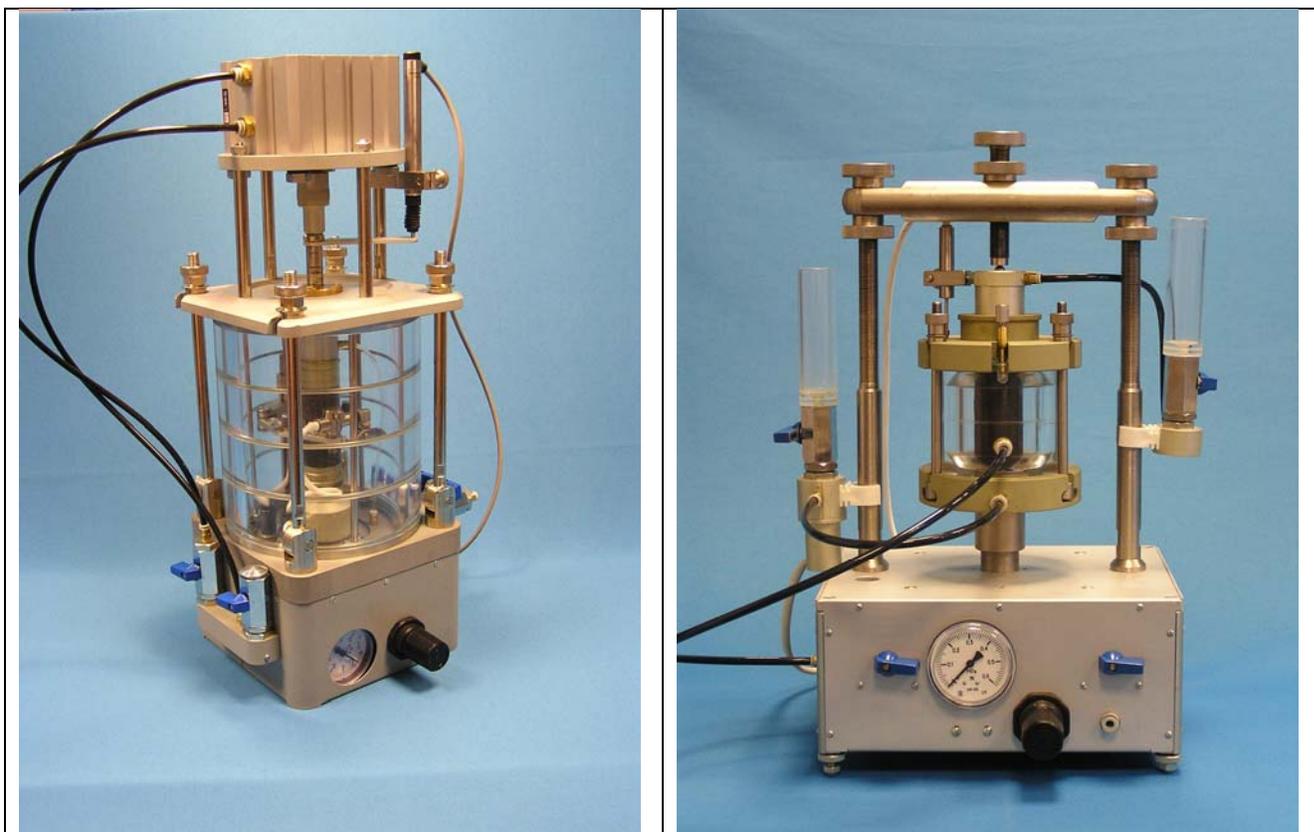


Рис. 2. Приборы трехосного сжатия (стабилометр): а – типа А; б – типа - Б

### 1. Процедура испытаний

Боковое давление, создаваемое воздухом или жидкостью в рабочей камере,  $\sigma_3 = \sigma_2$  (рис. 1 б, рис. 2) поддерживается постоянным, а вертикальное напряжение  $\sigma_1$  увеличивается ступенями  $\Delta\sigma_1$  (рис. 3). При определенной величине разности (девиаторе) напряжений ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) наступает разрушение образца по наклонной плоскости (рис. 4, 5). В отличие от испытаний на прямой

срез, где плоскость среза определена конструктивно (горизонтальна) в приборе трехосного сжатия положение плоскости разрушения зависит от условий нагружения.

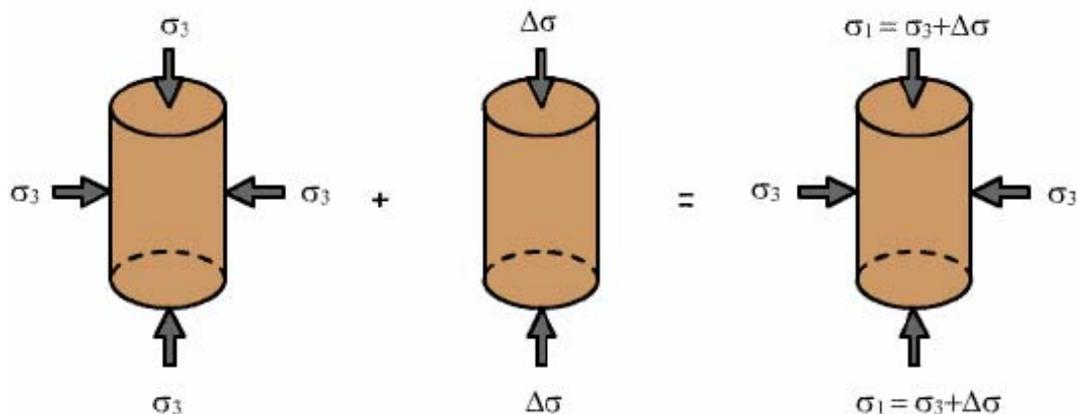


Рис. 3. Предварительное гидростатическое обжатие образца и добавочное внешней нагрузкой

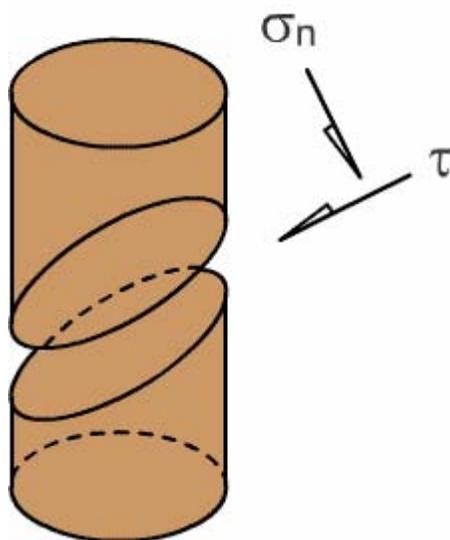


Рис. 4. Наклонная плоскость разрушения/среза

Касательное,  $\tau$  и нормальное напряжение,  $\sigma_n$  на плоскости разрушения может быть найдено, если известно значение угла наклона  $\theta$  данной плоскости в предельном состоянии.

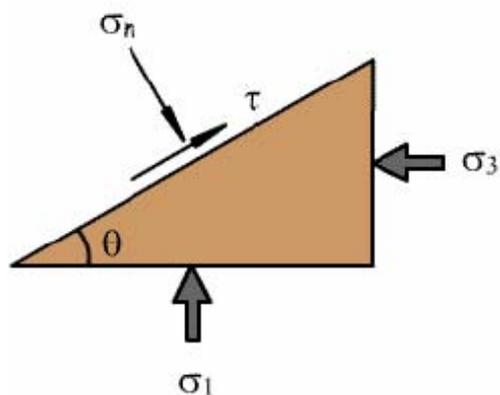


Рис. 5. Элемент среды и компоненты напряжений

Из условий равновесия на наклонной плоскости находим

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta \\ \sigma_n &= \sigma_3 + (\sigma_1 - \sigma_3) \cos^2 \theta = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\theta\end{aligned}$$

Если известно значение  $\theta$ , то могут быть найдены напряжения  $\tau$  и  $\sigma_n$ . В некоторых случаях, из опытов трудно найти угол наклона  $\theta$  плоскости разрушения, так как в образце не образуется видимой плоскости разрушения, образец деформируется в виде «бочки» (рис. 6). В этом случае, за разрушающую нагрузку принимается значение, соответствующее 20% вертикальной деформации.

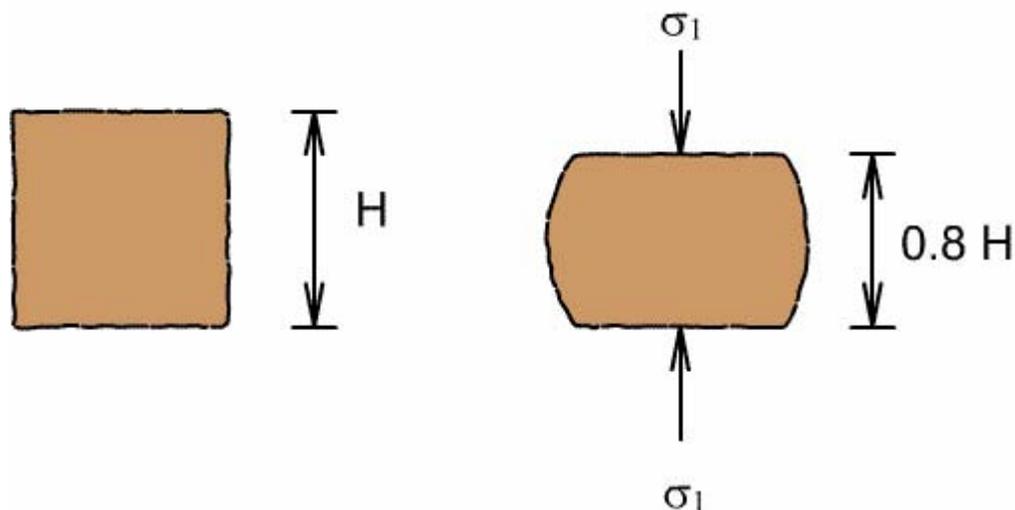


Рис. 6. Разрушение в виде «бочки»

Если на графике нанести все значения  $\tau$  и  $\sigma_n$  для каждого угла  $\theta$  от  $0$  до  $90^\circ$ , то получим круг радиусом  $\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$  с центром  $\tau = 0$  и  $\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)$ . Этот круг называется кругом напряжений Мора (рис. 7).

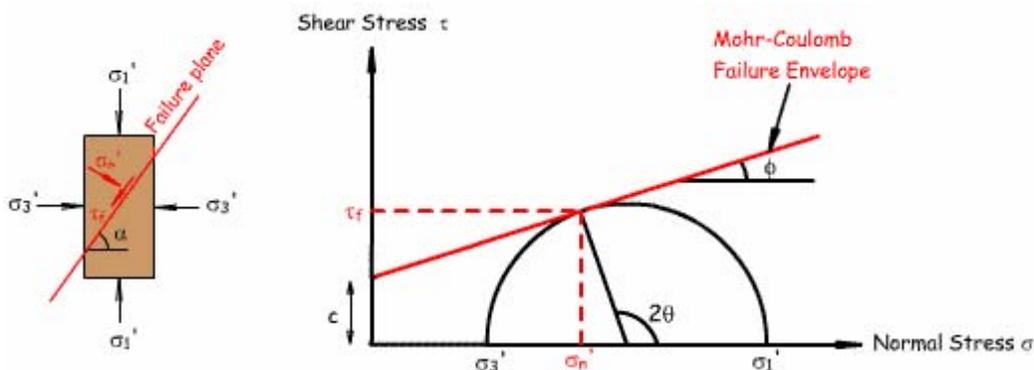


Рис. 7. Круг напряжений Мора и предельная прямая Мора-Кулона

Касательная к кругу Мора, построенного с использованием предельного значения напряжения  $\sigma_1$  является предельной прямой. Для случая связных грунтов необходимо построить не менее двух предельных круга Мора (рис. 8), т. е. провести опыты при различных значениях бокового давления  $\sigma_3$ .

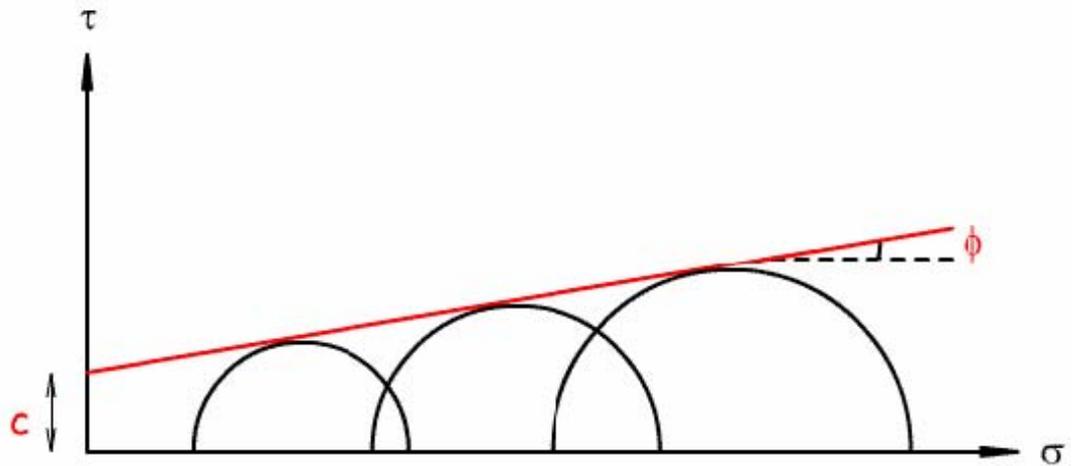


Рис. 8. Прямая предельного состояния для связного грунта

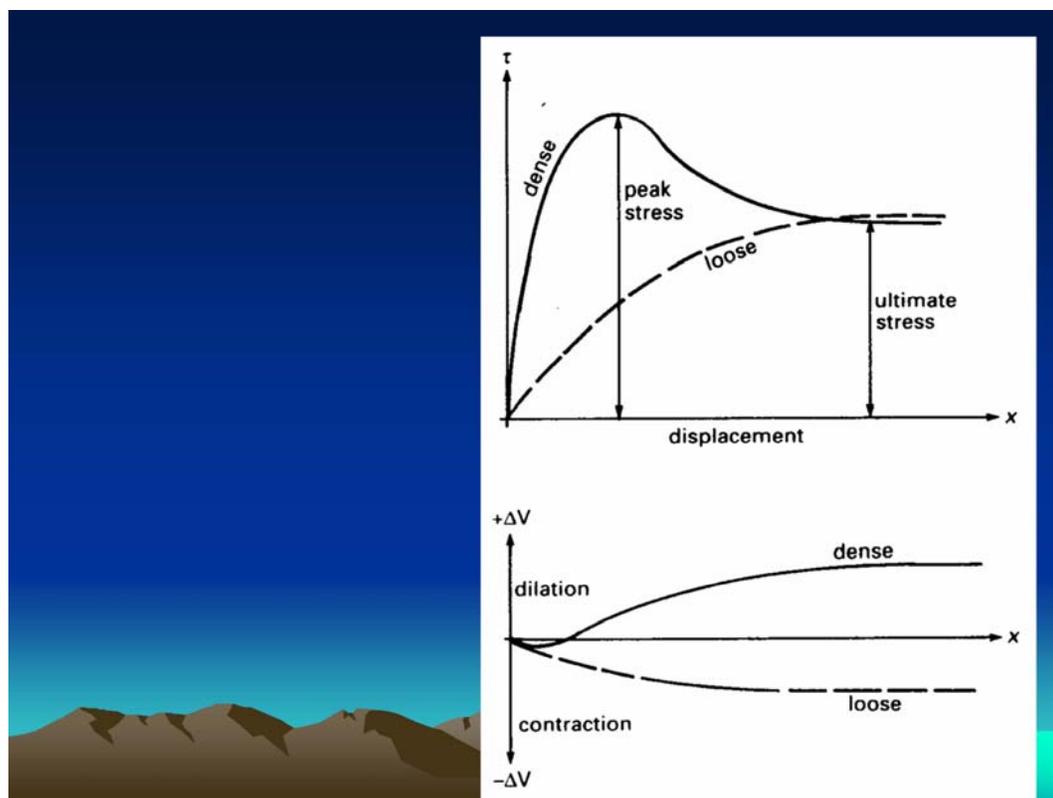


Рис. 9. Прочность плотного (dense) и рыхлого (loose) песка. Остаточная прочность одна и та же и плотного и рыхлого песка (ultimate stress). Пиковая прочность (peak stress) только у плотного песка.

## 2. Типы трехосных испытаний

### Неконсолидированно-недренированные испытания

Проводятся в условиях невозможности отжатия воды из образца грунта. Для этого между нагрузочными штампами и торцом образца грунта вводятся тонкие полиэтиленовые диски. Дополнительная, осевая нагрузки прикладывается сразу же после создания бокового давления в рабочей камере прибора. Скорость приложения нагрузки быстрая, не превышает 2 минут. Поровое давление не измеряется в ходе опыта. Параметры прочности  $c$  и  $\phi$  определяются как функция полных напряжений. Говорят, что данные испытания проводят по «быстрой схеме».

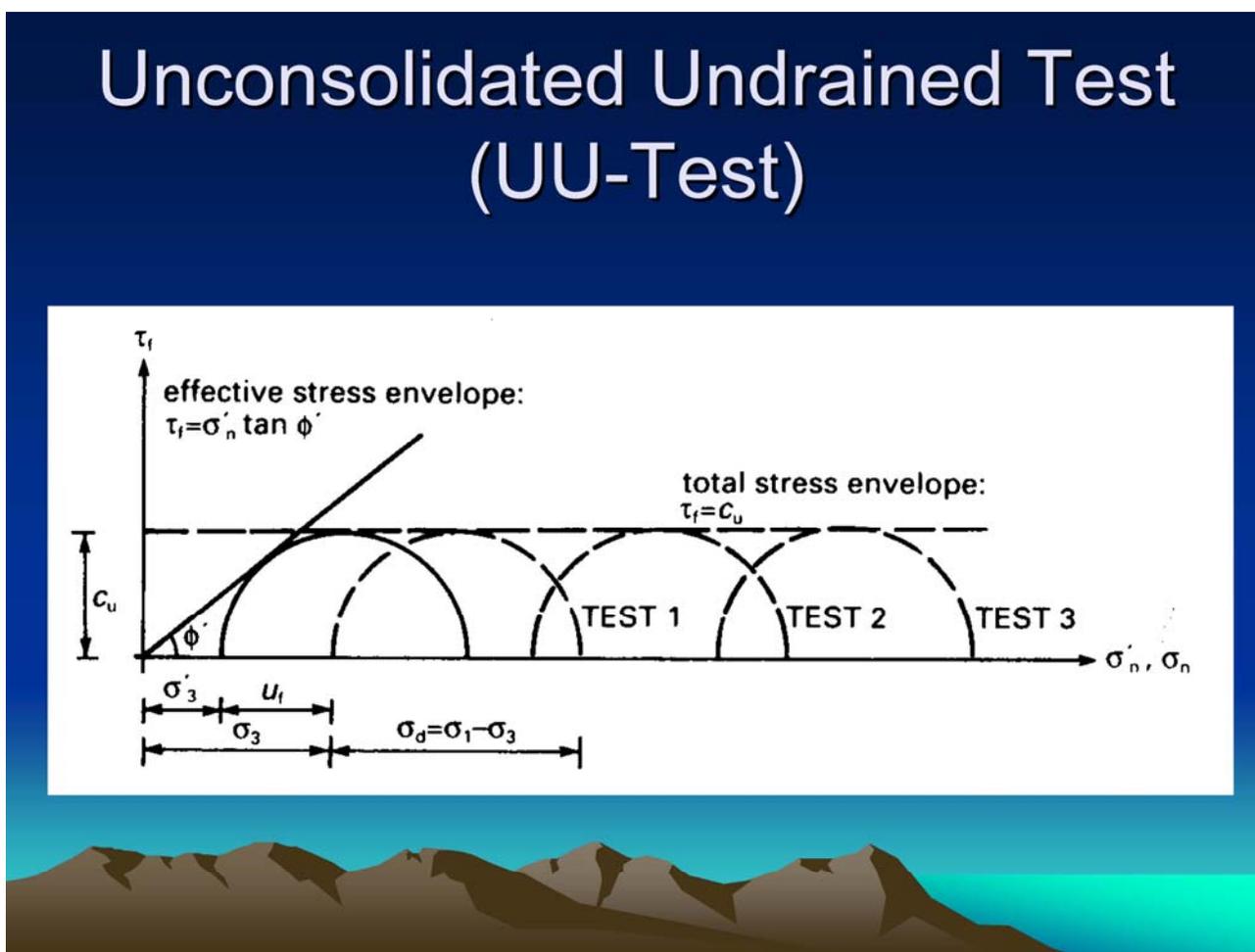


Рис. 10. Определение показателя недренированной прочности  $c_u$

**Консолидировано дренированные испытания**

Образец грунта находится между двумя пористыми дисками, через которые возможно отжатие воды из образца грунта. После создания бокового давления дожидаются рассеивания порового давления, обычно не менее 24 часов. Девиаторное напряжение  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  после стабилизации деформаций при консолидации прикладывается медленно. Опыт длится, в зависимости от грунта, обычно от двух дней до 2 недель. Данные испытания относят к категории «медленных» трехосных испытаний. По меньшей мере, необходимо провести не менее трех испытаний при различном боковом давлении, чтобы построить предельную прямую. Параметры прочности  $c$  и  $\varphi$  определяются в эффективных напряжениях в этих испытаниях.

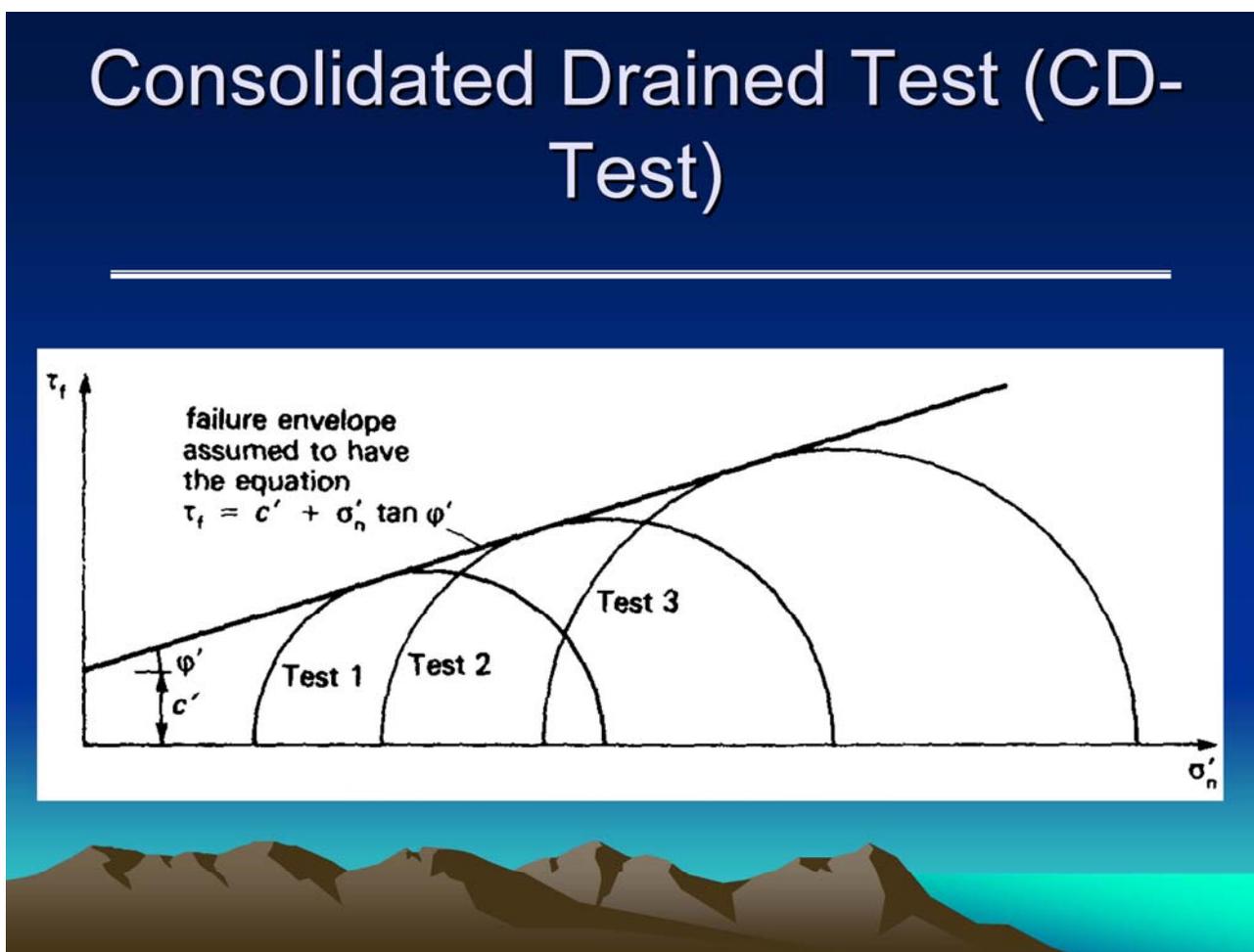


Рис. 11. Определение параметров прочности  $\varphi$  и  $c$

**Консолидировано-недренированные испытания**

Образец грунта находится между двумя пористыми дисками, через которые возможно отжатие воды из образца грунта. После создания бокового давления дожидаются рассеивания порового давления. На этой стадии эффективные напряжения равны боковому давлению. Затем кран дренирования закрывается, и образец нагружается до разрушения. В течение недренированной стадии нагружения поровое давление измеряется. Стадия консолидации обычно занимает 24 часа, а стадии сдвига от 2-10 минут до 2 часов. Параметры прочности  $c$  и  $\varphi$  могут быть получены как в эффективных, так и полных напряжениях из этого испытания.

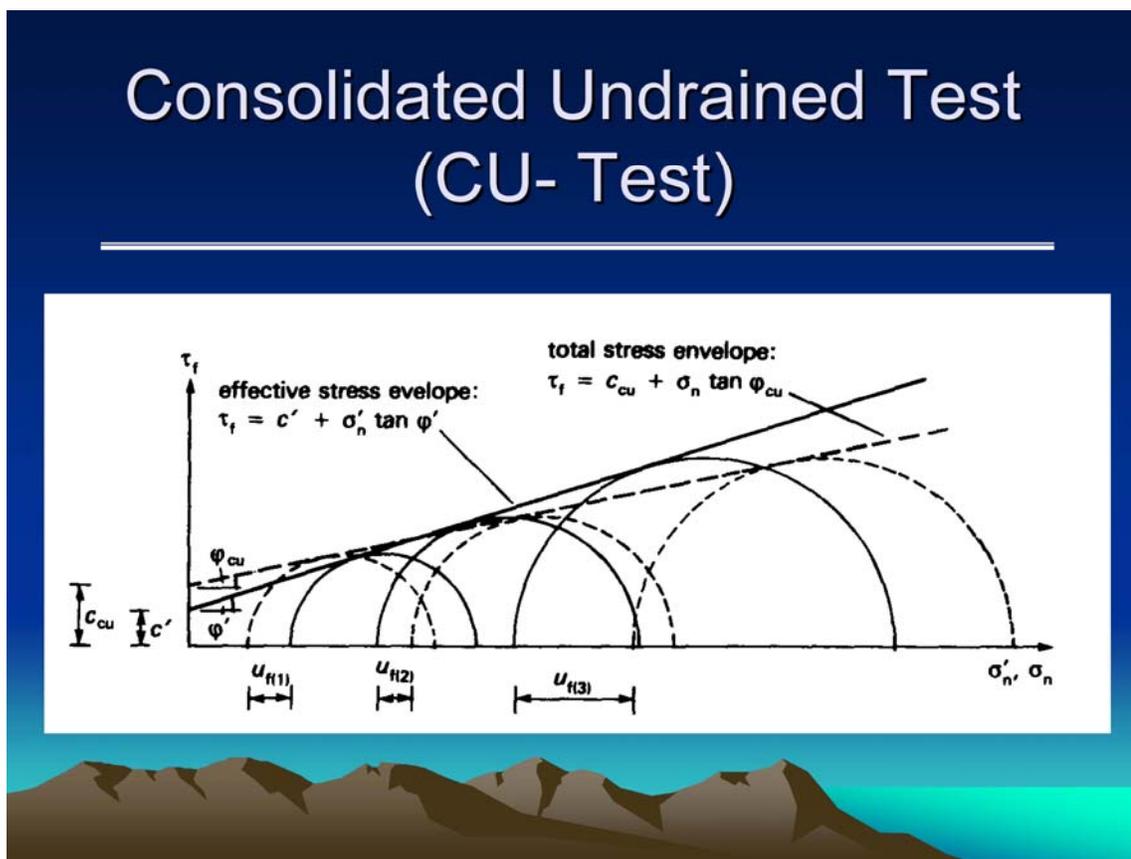


Рис. 12. Определение параметров прочности  $\varphi$  и  $c$  в условиях консолидировано-недренированного сдвига

### 3. Методика проведения испытаний

Испытание грунта методом трехосного сжатия проводят для определения следующих характеристик прочности и деформируемости: угла внутреннего трения; удельного сцепления, модуля деформации, порового давления для песков, глинистых, органо-минеральных и органических грунтов.

Испытания проводятся по методике ГОСТ 12248-96 в приборе трехосного сжатия (стабилومتر), конструкция которого показана на рис. 2.

Прежде чем перейти к подготовке образцов грунта запустите программу испытаний GEOTEK ASIS и выберите необходимую схему испытаний.

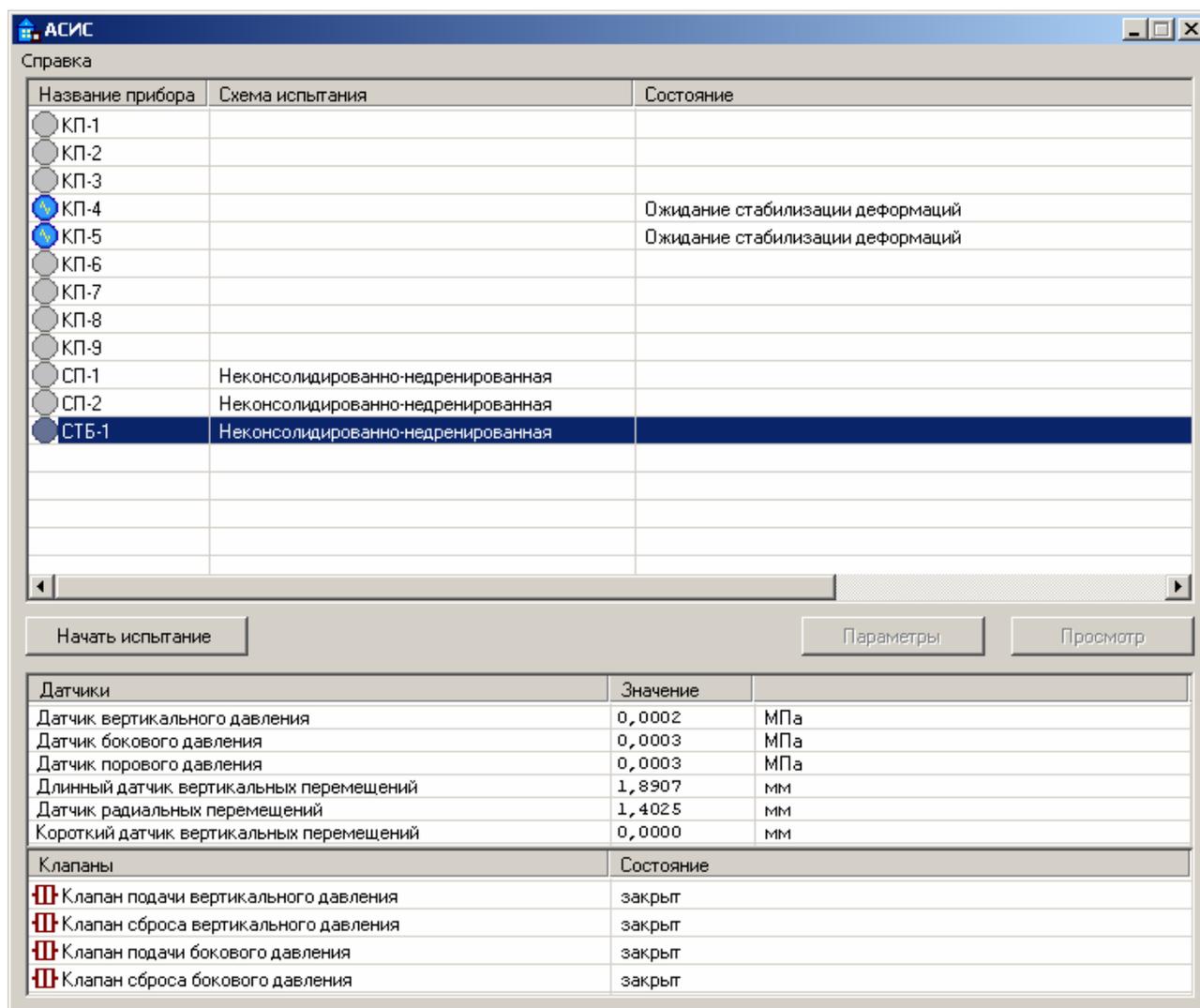


Рис. 13. Главное меню программы испытаний

### Подготовка образца грунта к испытаниям

В зависимости от вида грунта песок или глина применяются два способа подготовки образца грунта к испытаниям.

Рассмотрим процедуру подготовки глинистого образца грунта к испытаниям.

#### Первый случай. Глинистый грунт ненарушенной структуры.

1. Установить монолит грунта на основание устройства подготовки образцов (рис. 13).

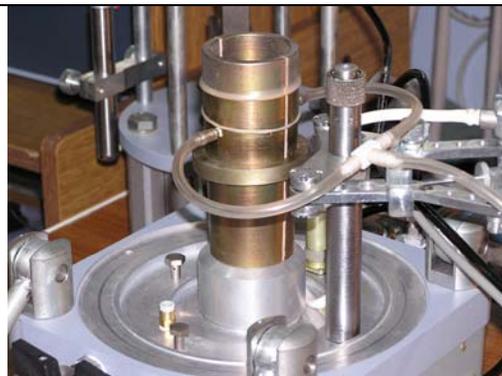
Рис. 13. Вырезание образца грунта из монолита

2. Используя нож или струну вырезать из монолита образец диаметром 38 мм.
3. Надеть резиновую оболочку на нижний штамп прибора и закрепить ее резиновым кольцом (этап 1).
4. Поставить на нижнее основание форму под образец и натянуть резиновую оболочку на верхний конец формы. Надеть дополнительное резиновое кольцо на верхний конец формы (этап 2).
5. Подключить систему разряжения к трубке в центре формы и создавая разряжение подтянуть резиновую оболочку к внутренней стороне формы. Опустить образец грунта в форму, поставить верхний штамп и фильтр на верхний торец образца грунта, натянуть резиновую оболочку на штамп и закрепить ее

резиновым кольцом сместив его с формы на штамп (этап 3). Штамп должен быть поставлен таким образом, чтобы отверстие в кронштейне совпадало с вертикальной осью датчика перемещений. Отключите систему разряжения.



Этап 1.



Этап 2



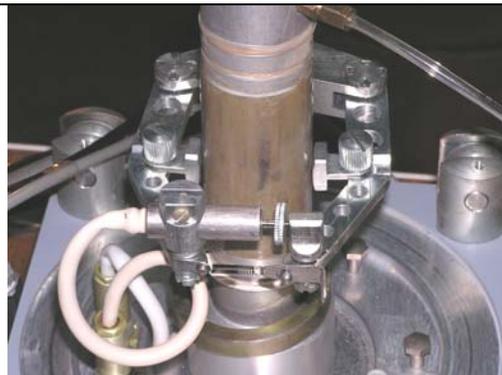
Этап 3



Этап 4



Этап 5



Этап 6

Последовательность размещения образца грунта в приборе типа А

Вставьте шток в тело датчика и проверьте начальное значение вертикальных перемещений, используя программу GEOTEK ASIS. Если начальное значение превышает 0,5 – 1 мм используя цанговый зажим и перемещая тело датчика, установите необходимое начальное значение показаний датчика.

6. Разберите форму и снимите ее с основания. Этапы 4, 5.
7. Установите датчик радиальных перемещений и проверьте его начальное показание (этап 6).

### Второй случай. Песчаный грунт

1. Выполните действия в соответствии с пунктами 3, 4.
2. Засыпьте взвешанную навеску песка внутрь резиновой оболочки с постоянной высотой или слегка уплотняя его трамбовкой, так чтобы обеспечить заданное значение плотности. Поставить верхний штамп и фильтр на верхний торец образца грунта, натянуть резиновую оболочку на штамп и закрепить ее резиновым кольцом сместив его с формы на штамп (этап 3). Штамп должен быть поставлен таким образом, чтобы отверстие в кронштейне совпадало с вертикальной осью датчика перемещений. Систему разряжения отключить от формы и подключить к каналу в нижнем основании штампа.

Вставьте шток в тело датчика и проверьте начальное значение вертикальных перемещений, используя программу GEOTEK ASIS. Если начальное значение превышает 0,5 – 1 мм используя цанговый зажим и перемещая тело датчика, установите необходимое начальное значение показаний датчика.

3. Разберите форму и снимите ее с основания. Этапы 4, 5.
4. Установите датчик радиальных перемещений и проверьте его начальное показание (этап 6).
5. Соберите прибор и при помощи клапана подачи бокового давления (нижнее окно программы, рис. 13) создайте давление 30 кПа. После этого необходимо отключить систему разряжения.

### 3.1. Неконсолидированно-недренированные испытания

Испытания проводят по следующей схеме.

В рабочей камере стабилометра создается заданное всестороннее давление.

К образцу грунта плавно прикладывается вертикальная нагрузка ступенями, равными 5-10% всестороннего давления в камере.

Испытание продолжается до разрушения или до достижения относительной вертикальной деформации образца грунта, равной 0,1.

После завершения испытания образец грунта разгружают, сбрасывая давление в камере стабилометра и пневмоцилиндре вертикального усилия.

Для запуска программы испытаний необходимо выполнить следующие действия.

1. Выберите: **Программы - GEOTEK ASIS** - из меню **Пуск Windows**. В результате появится главное окно программы **GEOTEK ASIS** (рис. 13).

2. Щелкните «мышкой» по строке с наименованием выбираемого прибора, например **СТБ-1**, а затем в «**Схема испытаний**» выберите «**Неконсолидированно-недренированная**», появится следующее окно.

3. Введите параметры.

### 3.1. Боковое обжатие (группа элементов управления слева)

Испытание начинается с бокового обжатия образца. Заметим, что при боковом обжатии кран дренирования должен быть закрыт, а система заполнена водой.

- **Нагрузка-разгрузка образца.** Боковое обжатие производится в одну ступень или в соответствии с программой испытаний. Величина нагрузки указывается в первом столбце. Можно задать циклическую нагрузку-разгрузку образца, указав во втором столбце таблицы давление, до которого необходимо разгрузить образец. В третьем столбце задается количество циклов нагрузки-разгрузки, т.е. число повторений операции нагрузка-разгрузка. Если нагрузку-разгрузку проводить не требуется, то в

столбцах «Разгрузка» и «Количество циклов» должны быть выставлены нулевые значения.

- **Время предварительного уплотнения.** На каждой ступени после создания боковой нагрузки происходит ожидание предварительного уплотнения образца. Необходимо задать время предварительного уплотнения. При циклической нагрузке-разгрузке время предварительного уплотнения ожидается и после нагрузки, и после разгрузки образца.

### 3.2. Вертикальное нагружение (группа элементов управления справа)

- **Степень вертикального давления.** Вертикальное нагружение производится ступенями, равными 10% от всестороннего давления. Величина ступени вертикальной нагрузки устанавливается в долях от величины последней ступени всестороннего давления.
- **Нагрузка-разгрузка.** При вертикальном нагружении можно выполнить циклы нагрузки-разгрузки образца. Одна строка таблицы соответствует одной группе циклов. Группа циклов задается тремя значениями:

*Относительная вертикальная деформация* – деформация, при достижении которой начнется разгрузка образца

*Величина разгрузки* – задается в долях от текущей вертикальной нагрузки.

*Количество циклов* – количество повторений операции нагрузка-разгрузка

Например, пусть будет задано: относительная вертикальная деформация 0,3; величина разгрузки 0,4; количество циклов 3. Это значит, что в процессе вертикального нагружения на очередной ступени, когда относительная деформация достигнет 30%, начнутся циклы нагрузки-разгрузки образца. Пусть при этом текущее вертикальное давление достигнет 0,1МПа. В процессе нагрузки вертикальное давление будет уменьшено на 40% от 0,1МПа, т.е. до 0,06МПа. Затем давление будет увеличено до прежнего значения (0,1МПа). И так 3 раза. Т.е. давление будет изменяться следующим образом: 0,1; 0,06; 0,1; 0,06; 0,1; 0,06; 0,1.

Интервал времени между нагрузкой и разгрузкой равен нулю, т.е. сразу после нагрузки происходит разгрузка, сразу после разгрузки – нагрузка и т.д.

Количество групп циклов не ограничено.

- **Время между ступенями вертикального давления.** Это интервал времени после окончания создания одной ступени вертикального давления и до начала создания другой.

- **Предельная относительная вертикальная деформация.** Это относительная вертикальная деформация образца, при достижении которой опыт считается завершенным.

Снятие результатов с датчиков бокового давления, вертикального давления, порового давления, вертикальной деформации, радиальной деформации производится:

- а) каждый раз перед созданием очередной ступени бокового давления;
- б) каждый раз перед созданием очередной ступени вертикального давления;
- в) в конце испытания после достижения предельной относительной деформации образца.

### 3.2. Консолидированно-недренированные испытания

Испытания проводят по следующей схеме.

1. В рабочей камере стабилометра создается всестороннее давление. Давление создается ступенями в соответствии с программой испытаний

Таблица 5.5

Грунты	Давление в камере $\sigma_3$ при предварительном уплотнении, МПа	Ступени давления
Пески крупные и средней крупности плотные Глины с $I_L \leq 0$	0,1; 0,3; 0,5	0,1
Пески средней крупности, средней плотности, пески мелкие плотные и средней плотности Глинистые: супеси и суглинки с $I_L \leq 0,5$ , глины с $0 < I_L \leq 0,5$	0,1; 0,2; 0,3	0,05
Пески средней крупности и мелкие рыхлые, пески пылеватые независимо от плотности Глинистые: супеси, суглинки, глины с $I_L > 0,5$	0,1; 0,15; 0,20	0,025 до $\sigma_3 = 0,1$ и далее 0,05
Органо-минеральные и органические грунты	0,05; 0,075; 0,1	0,025
Примечание - При больших значениях заданного давления в камере ступени давления принимают равными 10% от конечного давления.		

или требований табл. 5.5 ГОСТ 12248-96. При этом обеспечивается отжатие воды из образца грунта. Для этого следует открыть кран дренажа (см. «Руководство по эксплуатации ГТЕК 425420.001 РЭ»).

2. Каждую ступень всестороннего давления при консолидации выдерживают не менее: 5 минут – для песков; 15 минут – для глинистых, органо-минеральных и органических грунтов.

3. Конечную ступень всестороннего давления выдерживают до условной стабилизации относительной вертикальной деформации образца грунта. За этот критерий принято значение, равное 0,0001 за время, указанное в табл. 5.6 ГОСТ 12248-96.

Таблица 5.6

Грунты	Время условной стабилизации вертикальной деформации, ч
Пески	0,5
Глинистые:	
- супеси	6
- суглинки:	
с $I_p \leq 12$	6
с $I_p > 12$	12
- глины	24
Органо-минеральные и органические грунты	24

4. После уплотнения перекрывают дренаж и к образцу прикладывается вертикальная нагрузка ступенями, равными 10% от всестороннего давления.

5. Испытание продолжается до разрушения или до достижения относительной вертикальной деформации образца грунта, равной 0,10.

6. После завершения испытания образец грунта разгружают, сбрасывая давление в рабочей камере и пневмоцилиндре.

Для запуска программы испытаний необходимо выполнить следующие действия.

1. Выберите: **Программы - GEOTEK ASIS** - из меню **Пуск Windows**. В результате появится главное окно программы **GEOTEK ASIS**.

2. Щелкните «мышкой» по строке с наименованием выбираемого прибора, Затем в столбце «**Схема испытаний**» выберите «**Консолидировано-недренированная**», появится следующее окно.

## 3. Введите параметры

**Параметры СТБ-1 КН схема**

**Боковое обжатие**

Нагрузка-разгрузка образца

	Нагрузка, МПа	Разгрузка, МПа	Количество циклов
✎	0	0	0
*			

Время предварительного уплотнения, мин

1,0

Условная стабилизация относительной объемной деформации

	Сутки	Час	Мин	Сек
Время	0	0	0	0
Период	0	0	0	0
Параметр	0,01000			

**Вертикальное нагружение**

Степень вертикального давления

0,10

Нагрузка-разгрузка образца

	Относительная вертикальная деформация	Величина разгрузки	Количество циклов
▶	0	0	0
*			

Время между ступенями вертикального давления, сек

10

Предельная относительная вертикальная деформация

0,15

< Назад    Начать    Отмена

## 3.1. Боковое обжатие (группа элементов управления слева)

Испытание начинается с бокового обжатия образца. В процессе бокового обжатия кран дренирования должен быть открыт.

- **Нагрузка-разгрузка.** Всестороннее давление к образцу грунта прикладывается ступенями. Количество ступеней не ограничено. Строка таблицы соответствует одной ступени. На каждой ступени необходимо задать величину нагрузки в первом столбце. На любой ступени можно задать циклическую нагрузку-разгрузку образца, указав во втором столбце таблицы давление, до которого необходимо разгрузить образец. В третьем столбце задается количество циклов нагрузки-разгрузки, т.е. число повторений операции нагрузка-разгрузка. Если нагрузку-разгрузку проводить не требуется, то в столбцах «Разгрузка» и «Количество циклов» должны быть нулевые значения.
- **Время предварительного уплотнения.** На каждой ступени боковой нагрузки происходит предварительное уплотнение образца. В элементе **Время предварительного уплотнения** определяется время между

ступенями боковой нагрузки. Интервал между нагрузкой и разгрузкой также равен этому времени.

- **Условная стабилизация относительной объемной формации.** После последней ступени бокового обжатия ожидается стабилизация относительной объемной деформации.

После завершения бокового обжатия кран дренирования необходимо закрыть. Пока кран дренирования открыт, к вертикальному нагружению переходить нельзя. Программа выдаст соответствующее напоминание. После закрытия крана дренирования, вы должны оповестить об этом программу, нажав кнопку **«Кран дренирования закрыт»** на форме отображения процесса испытания.

### **3.2. Вертикальное нагружение (группа элементов управления справа)**

После бокового обжатия происходит сначала установка противодействия, а затем вертикальное нагружение.

- **Степень вертикального давления.** Вертикальное нагружение производится ступенями. Величина ступени устанавливается в долях от величины последней ступени всестороннего давления.
- **Нагрузка-разгрузка.** При вертикальном нагружении можно выполнить циклы нагрузки-разгрузки образца. Одна строка таблицы соответствует одной группе циклов. Группа циклов задается тремя значениями:

*Относительная вертикальная деформация* – деформация, при достижении которой начнется разгрузка образца

*Величина разгрузки* – задается в долях от текущей вертикальной нагрузки.

*Количество циклов* – количество повторений операции нагрузка-разгрузка

Например, пусть будет задано: относительная вертикальная деформация 0,3; величина разгрузки 0,4; количество циклов 3. Это значит, что в процессе вертикального нагружения на очередной ступени, когда относительная деформация достигнет 30%, начнутся циклы нагрузки-разгрузки образца. Пусть при этом текущее вертикальное давление достигнет 0,1МПа. В процессе нагрузки вертикальное давление будет уменьшено на 40% от 0,1МПа, т.е. до 0,06МПа. Затем давление будет увеличено до прежнего значения (0,1МПа). И так 3 раза. Т.е. давление будет изменяться следующим образом: 0,1; 0,06; 0,1; 0,06; 0,1; 0,06; 0,1.

Интервал времени между нагрузкой и разгрузкой равен нулю, т.е. сразу после нагрузки происходит разгрузка, сразу после разгрузки – нагрузка и т.д.

Количество групп циклов не ограничено.

- **Время между ступенями вертикального давления.** Это интервал времени после окончания создания одной ступени вертикального давления и до начала создания другой.
- **Предельная относительная вертикальная деформация.** Это относительная вертикальная деформация образца, при достижении которой опыт считается завершенным.

Снятие результатов с датчиков бокового давления, вертикального давления, порового давления, вертикальной деформации, радиальной деформации производится:

- а) каждый раз перед созданием очередной ступени бокового давления;
- б) каждый раз перед созданием очередной ступени вертикального давления;
- в) в конце испытания после достижения предельной относительной деформации образца.

### 3.3. Консолидированно-дренированные испытания

Консолидированно-дренированные испытания проводятся по следующей схеме.

1. В рабочей камере стабилометра создается заданное всестороннее давление. Давление создается ступенями в соответствии с требованиями табл. 5.5 ГОСТ 12248-96. При этом обеспечивается отжатие воды из образца грунта. Для этого следует открыть кран дренажа (см. «Руководство по эксплуатации ГТЕК 425420.001 РЭ»), который остается открытым в течение всего опыта.

2. Каждую ступень всестороннего давления при консолидации выдерживают не менее: 5 минут – для песков; 15 минут – для глинистых, органо-минеральных и органических грунтов.

3. Конечную ступень всестороннего давления выдерживают до условной стабилизации относительной вертикальной деформации образца грунта. За этот критерий принято значение, равное 0,01 мм за время, указанное в табл. 5.6 ГОСТ 12248-96.

4. После уплотнения к образцу плавно прикладывается вертикальная нагрузка ступенями, равными 5-10% всестороннего давления в камере. Каждую ступень вертикального нагружения выдерживают до условной стабилизации вертикальной деформации образца, за которую принимают приращение относительной вертикальной деформации, не превышающее 0,0001 за 1 мин.

5. Испытание продолжается до разрушения или до достижения относительной вертикальной деформации образца грунта, равной 0,10.

6. После завершения испытания образец грунта разгружают, сбрасывая давление в камере и пневмоцилиндре.

Для запуска программы испытаний необходимо выполнить следующие

действия.

1. Выберите: **Программы - GEOTEK ASIS** - из меню **Пуск Windows**. В результате появится главное окно программы **GEOTEK ASIS**.
2. Щелкните «мышкой» по строке с наименованием выбираемого прибора, затем по строке в столбце «Схема испытаний» Консолидировано-дренированная, появится следующее окно.
3. Введите параметры

**Параметры СТБ-1 КД схема**

**Боковое обжатие**

Нагрузка-разгрузка образца

	Нагрузка, МПа	Разгрузка, МПа	Количество циклов
▶	0	0	0
*			

Время предварительного уплотнения, мин  
1,0

Условная стабилизация относительной объемной деформации

	Сутки	Час	Мин	Сек
Время	0	0	0	0
Период	0	0	0	0
Параметр	0,01000			

**Вертикальное нагружение**

Степень вертикального давления  
0,10

Нагрузка-разгрузка образца

	Относительная вертикальная деформация	Величина разгрузки	Количество циклов
▶	0	0	0
*			

Определение характеристик прочности  
 Определение характеристик деформируемости

Условная стабилизация относительной вертикальной деформации  
Неопределенный грунт

	Сутки	Час	Мин	Сек
Время	0	0	0	0
Период	0	0	0	0
Параметр	0,01000			

Предельная относительная вертикальная деформация  
0,15

### 3.1. Боковое обжатие (группа элементов управления слева)

Испытание начинается с бокового обжатия образца. Заметим, что при боковом обжатии кран дренирования должен быть открыт.

- **Нагрузка-разгрузка.** Боковое обжатие производится ступенями. Количество ступеней не ограничено. Строка таблицы соответствует одной ступени. На каждой ступени необходимо задать величину нагрузки в

первом столбце. На любой ступени можно задать циклическую нагрузку-разгрузку образца, указав во втором столбце таблицы давление, до которого необходимо разгрузить образец. В третьем столбце задается количество циклов нагрузки-разгрузки, т.е. число повторений операции нагрузка-разгрузка. Если нагрузку-разгрузку проводить не требуется, то в столбцах «Разгрузка» и «Количество циклов» должны быть выставлены нулевые значения.

- **Время предварительного уплотнения.** На каждой ступени боковой нагрузки происходит ожидание предварительного уплотнения образца в течение заданного времени. После разгрузки образца (если она задана) также происходит ожидание предварительного уплотнения.
- **Условная стабилизация относительной объемной формации.** После последней ступени бокового обжатия ожидается стабилизация относительной объемной деформации.

### 3.2. Вертикальное нагружение (группа элементов управления справа)

После бокового обжатия происходит сначала установка противодействия, а затем вертикальное нагружение.

- **Ступень вертикального давления.** Вертикальное нагружение производится ступенями. Величина ступени устанавливается в долях от величины последней приложенной боковой нагрузки.
- **Нагрузка-разгрузка.** При вертикальном нагружении можно выполнить циклы нагрузки-разгрузки образца. Одна строка таблицы соответствует одной группе циклов. Группа циклов задается тремя значениями:

*Относительная вертикальная деформация* – деформация, при достижении которой начнется разгрузка образца.

*Величина разгрузки* – задается в долях от текущей вертикальной нагрузки.

*Количество циклов* – количество повторений операции нагрузка-разгрузка

Например, пусть будет задано: относительная вертикальная деформация 0,3; величина разгрузки 0,4; количество циклов 3. Это значит, что в процессе вертикального нагружения на очередной ступени, когда относительная деформация достигнет 30%, начнутся циклы нагрузки-разгрузки образца. Пусть при этом текущее вертикальное давление достигнет 0,1МПа. В процессе нагрузки вертикальное давление будет уменьшено на 40% от 0,1МПа, т.е. до 0,06МПа. Затем давление будет увеличено до прежнего значения (0,1МПа). И так 3 раза. Т.е. давление будет изменяться следующим образом: 0,1; 0,06; 0,1; 0,06; 0,1; 0,06; 0,1.

Интервал времени между нагрузкой и разгрузкой равен нулю, т.е. сразу после нагрузки происходит разгрузка, сразу после разгрузки – нагрузка и т.д. Количество групп циклов не ограничено.

### 3.3.1. Определение характеристик прочности

При определении **характеристик прочности** каждая ступень вертикального нагружения выдерживается до условной стабилизации вертикальной деформации образца, критерием которой является приращение относительной вертикальной деформации, не превышающее 0,0001 за минуту. Для этого введите параметры «**Время**» и «**Период**» равными 1 минуте, а в окне «**Параметр**» введите значение 0,0001.

### 3.3.2. Определение характеристик деформируемости

При определении **характеристик деформируемости** каждая ступень вертикального нагружения также выдерживается до условной стабилизации вертикальной деформации образца, за критерий которой принимают приращение относительной вертикальной деформации, не превышающее 0,0001 за время, указанное в табл. 5.6. Если выбрать из выпадающего списка вид грунта, параметры условной стабилизации будут установлены автоматически в соответствии с табл. 5.6 ГОСТ 12248-96.

В тоже время параметры условной стабилизации («**Время**», «**Период**» и «**Параметр**») вы можете задать самостоятельно. **Предельная относительная вертикальная деформация.** Это относительная вертикальная деформация образца, при достижении которой опыт считается завершенным.

Снятие результатов с датчиков бокового давления, вертикального давления, порового давления, вертикальной деформации, радиальной деформации производится:

- а) каждый раз перед созданием очередной ступени бокового давления;
- б) каждый раз перед созданием очередной ступени вертикального давления;
- в) в конце испытания после достижения предельной относительной вертикальной деформации образца.

## 4. Обработка результатов испытаний

Обработка результатов выполняется с использованием программы ASIS Report.

1. Запустите программу ASIS Report и выберите из базы данных испытаний необходимую строительную площадку и номер образца грунта.

**Результаты испытания**

Время	Востороннее напряжение в кН	Вертикальное напряжение $\sigma_1$ , МПа	Напряжение в поровой жидкости u	Горизонтальная деформация, мм	Вертикальная деформация, мм	Боковое обжатие
12.10.2005, 13:52:04	0	0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:53:12	0,09683099	0,09683099	0,000338983053	-0,008928567	0,06405258	<input checked="" type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:53:22	0,0971831	0,0966324	0,000338983053	-0,008928567	0,0423133373	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:53:34	0,0971831	0,119226724	0	-0,008928567	0,244052649	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:53:44	0,0971831	0,12902388	0,000338983053	-0,0119047463	0,244052649	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:53:54	0,0947183147	0,133906975	0	-0,0148809254	0,264052629	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:54:04	0,09507042	0,141606957	0,000338983053	-0,008928567	0,264052629	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:54:15	0,0975352153	0,151419625	0,000338983053	-0,0178571343	0,2840526	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:54:25	0,0975352153	0,158767492	0	-0,00595235825	0,2840526	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:54:36	0,0947183147	0,165747762	0,000338983053	-0,0178571343	0,3040526	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:54:46	0,0954225361	0,173799857	0	-0,0119047463	0,3040526	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:54:56	0,096126765	0,179402664	0,000338983053	-0,008928567	0,324052572	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:55:06	0,09577465	0,183949143	0	-0,0119047463	0,324052572	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:55:16	0,0954225361	0,1884956	0,000338983053	0	0,324052572	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:55:27	0,096126765	0,196547717	0,000338983053	0	0,344052553	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:55:37	0,0971831	0,204951912	0,000338983053	-0,008928567	0,364052534	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:55:47	0,0954225361	0,208089918	0,000338983053	-0,00595235825	0,364052534	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:55:58	0,09823944	0,215805411	0,000338983053	0,005952388	0,364052534	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:56:08	0,0971831	0,219647661	0	-0,00297617912	0,384052515	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:56:18	0,09683099	0,226643413	0,000338983053	-0,008928567	0,384052515	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:56:29	0,096126765	0,230837792	0,000338983053	0,005952388	0,424052477	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:56:39	0,09647887	0,238537759	0,000338983053	0,002976209	0,4440527	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:56:49	0,09929577	0,246253252	0,000338983053	0,008928597	0,4440527	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:57:00	0,0971831	0,251488447	0,000338983053	0,0119047761	0,464052677	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:57:10	0,096126765	0,2553307	0,000338983053	0,0178571641	0,484052658	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:57:21	0,09577465	0,259877175	0,000338983053	0,0148809552	0,464052677	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:57:31	0,09507042	0,264071524	0,000338983053	0,0208333433	0,484052658	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:57:41	0,09859155	0,272491217	0,000338983053	0,0208333433	0,484052658	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:57:52	0,09788732	0,274236321	0,000338983053	0,0238095522	0,484052658	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:58:02	0,09683099	0,28052783	0	0,0238095522	0,504052639	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:58:13	0,096126765	0,2847222	0,000338983053	0,0357143	0,504052639	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:58:23	0,09577465	0,289286672	0,000338983053	0,03273812	0,5240526	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:58:33	0,09507042	0,293463022	0,000338983053	0,0357143	0,5240526	<input type="checkbox"/>
12.10.2005, 13:58:43	0,09507042	0,299432173	0,000338983053	0,041000000	0,5440526	<input type="checkbox"/>

3. Щелкните мышкой по кнопке «Экспорт в Excel» появится график зависимости  $(\sigma_1 - \sigma_3) = f(\varepsilon_1)$ .

ASIS Report

Отчет Платформа Испытание Помощь

Строительная площ...	Номер образца	Скважина	ИГЗ	Тип грунта	Прибор	Схема испытания
1	<input type="checkbox"/> 11-10-СП5	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
2	<input type="checkbox"/> 11-10-СП6	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
КП	<input type="checkbox"/> 11-10-СП7	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
СП	<input type="checkbox"/> 11-10-СП8	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
НЛМК	<input type="checkbox"/> 11-10-СП9	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
ОАО НЛМК	<input type="checkbox"/> 12-10-СП1	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
ОАО НЛМК	<input type="checkbox"/> 12-10-СП2	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
ОАО НЛМК	<input type="checkbox"/> 12-10-СП3	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
GeoСтрой	<input checked="" type="checkbox"/> 12-10-ст61	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Песок	СТБ-1 Б д...	
Тюмень	<input type="checkbox"/> 12-10-ст62	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Песок	СТБ-1 Б д...	
Фиксация поршня	<input type="checkbox"/> 13-10-СП1	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
Магнитогорск	<input type="checkbox"/> 13-10-СП2	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
СибЖелДорПроект	<input type="checkbox"/> 13-10-СП2	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
Курск 1	<input type="checkbox"/> 13-10-ст61	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
Курск	<input type="checkbox"/> 13-10-СП3	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	
СибГиротрансПуль	<input type="checkbox"/> 13-10-СП3	Новая скважи...	Новый ИГЗ	Глина	СП-1	

Результаты испытания

Номер образца: 12-10-ст61

Время	Востороннее напряжени	Боковое обжатие
12.10.2005, 13:52:04	0	
12.10.2005, 13:53:12	0,09683099	
12.10.2005, 13:53:22	0,0971831	
12.10.2005, 13:53:34	0,0971831	
12.10.2005, 13:53:44	0,0971831	
12.10.2005, 13:53:54	0,0947183147	
12.10.2005, 13:54:04	0,09507042	
12.10.2005, 13:54:15	0,0975352153	
12.10.2005, 13:54:25	0,0975352153	
12.10.2005, 13:54:36	0,0947183147	
12.10.2005, 13:54:46	0,0954225361	
12.10.2005, 13:54:56	0,096126765	
12.10.2005, 13:55:06	0,09577465	
12.10.2005, 13:55:16	0,0954225361	
12.10.2005, 13:55:27	0,096126765	
12.10.2005, 13:55:37	0,0971831	
12.10.2005, 13:55:47	0,0954225361	
12.10.2005, 13:55:58	0,09823944	
12.10.2005, 13:56:08	0,0971831	
12.10.2005, 13:56:18	0,09683099	
12.10.2005, 13:56:29	0,096126765	
12.10.2005, 13:56:39	0,09647887	
12.10.2005, 13:56:49	0,09929577	
12.10.2005, 13:57:00	0,0971831	
12.10.2005, 13:57:10	0,096126765	
12.10.2005, 13:57:21	0,09577465	
12.10.2005, 13:57:31	0,09507042	
12.10.2005, 13:57:41	0,09859155	
12.10.2005, 13:57:52	0,09789732	
12.10.2005, 13:58:02	0,09683099	
12.10.2005, 13:58:13	0,096126765	
12.10.2005, 13:58:23	0,09577465	
12.10.2005, 13:58:33	0,09507042	
12.10.2005, 13:58:43	0,09507042	

Точки для определения модуля деформации образца 12-10-ст61

Точки графика

Начальная: 0,003343187; 0,119228

Конечная: 0,008517053; 0,337561

По умолчанию

Уравнение прямой нагрузки:  $Y = 40,17943 * X + 0,0010472$

Мод. деформ. нагр. E (МПа): 40,17943

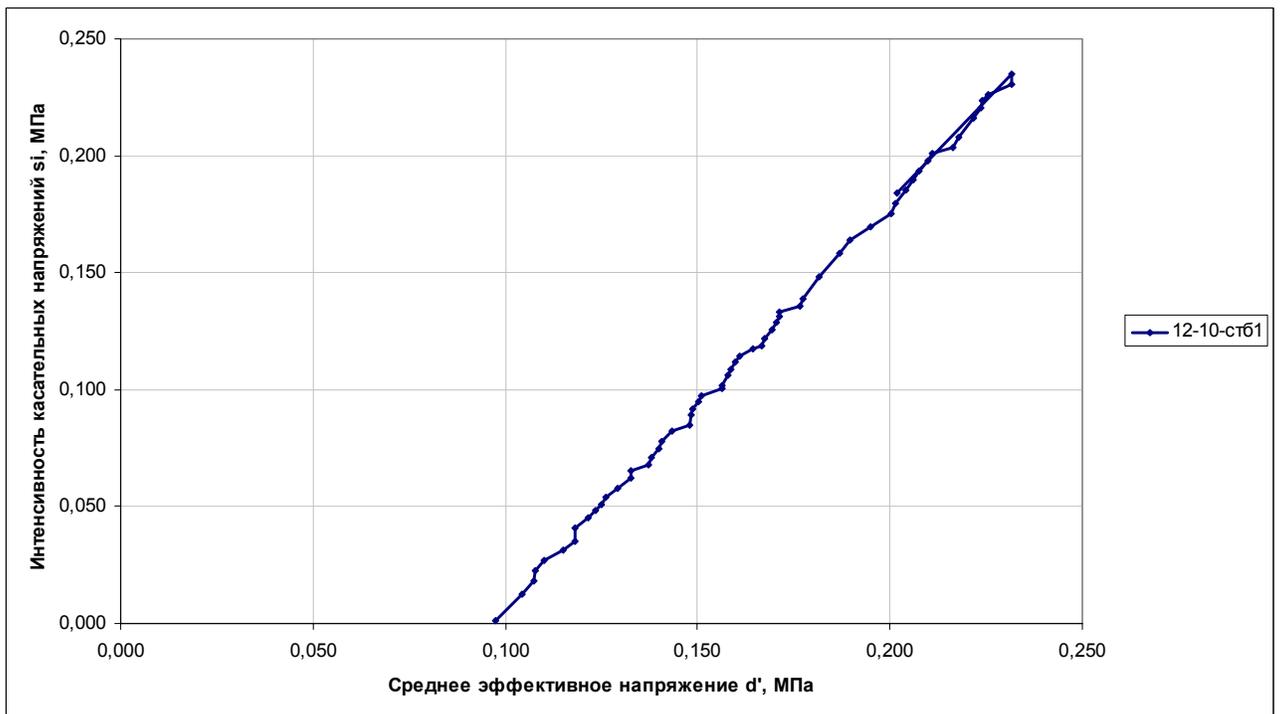
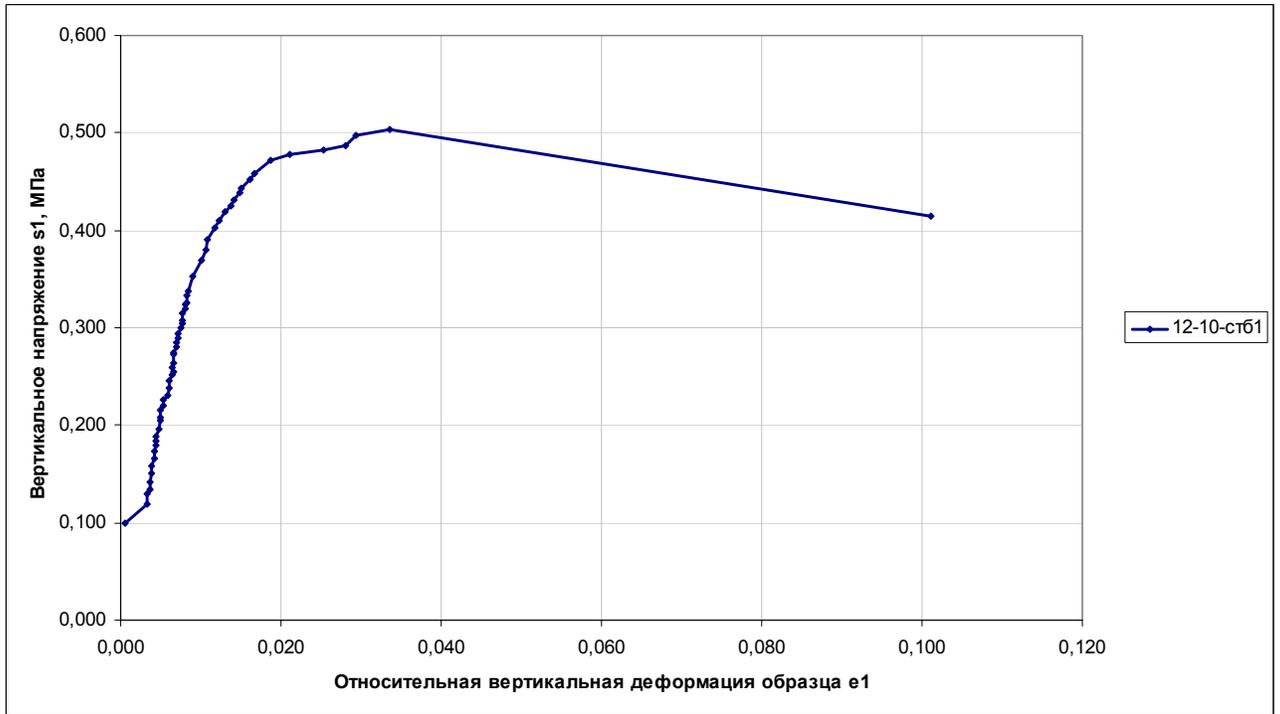
Уравнение прямой разгрузки:  $Y = 39,63411 * X + 1,397988$

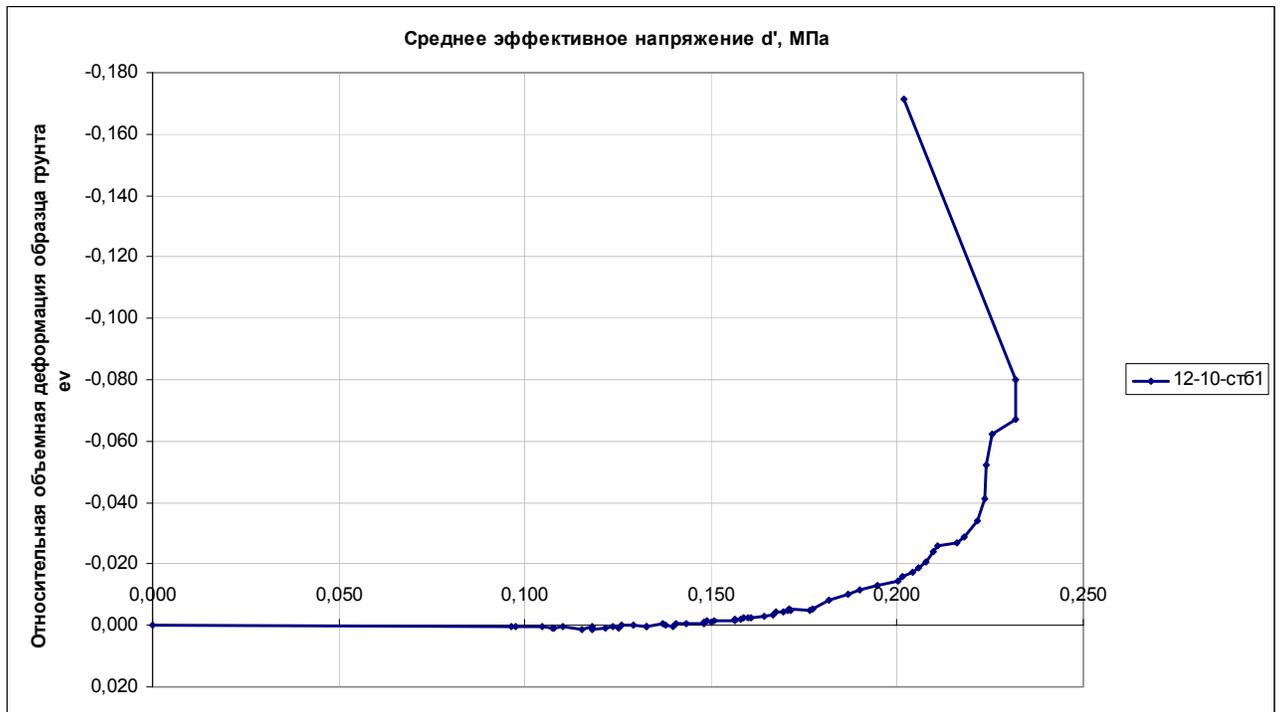
Мод. деформ. разгр. E (МПа): 39,63411

OK

Отмена

4. Используя мышку, выберите начальную и конечную ступень нагрузки начального линейного участка зависимости  $(\sigma_1 - \sigma_3) = f(\epsilon_1)$  для определения модулей деформации E, G, K и коэффициента Пуассона  $\nu$ . Нажмите на кнопку «OK» появится журнал испытаний и графики различных зависимостей.





Лаборатория

**ЖУРНАЛ**

испытания грунта методом трехосного сжатия по ГОСТ 12248-96

Объект (пункт) -	
Сооружение -	Курсы
Шурф (скважина) №	Новая скважина
Глубина отбора образца, м -	
Лабораторный номер образца -	12-10-стб1
Наименование грунта -	Песок
Сложение грунта -	

Данные об образце грунта:	
Высота, мм -	73,00
Диаметр, мм -	38,00
Площадь, см <sup>2</sup> -	11,34
Объем, см <sup>3</sup> -	82,79
Масса образца, г -	

Вид испытания	
Прибор (тип, номер)№ -	СТБ-1 6 датчиков сила
Схема испытания -	Трехосное сжатие 6 Неконсолидированно-недренированная
Схема фильтрации -	
Сведения о замачивании -	
Жидкость для замачивания (фильтрации) -	
Дата испытаний:	начало - 12/10/2005 13:52:4
	окончание - 12/10/2005 14:3:35

Физические характеристики грунта	
Природная влажность, доли единицы -	
Плотность грунта, т/м <sup>3</sup> -	
Плотность частиц грунта, т/м <sup>3</sup> -	
Коэффициент пористости, доли единицы -	
Плотность сухого грунта, т/м <sup>3</sup> -	
Степень влажности, доли единицы -	
Показатель текучести, доли единицы -	
<b>Модуль деформации при нагрузке, Е МПа -</b>	<b>7,86</b>
<b>Модуль деформации при разгрузке, Е МПа -</b>	<b>39,63</b>
<b>Модуль сдвига G, МПа -</b>	<b>3,90</b>
<b>Модуль объемной деформации K, МПа -</b>	<b>18,21</b>
<b>Коэффициент Пуассона -</b>	<b>0,27</b>

Прочностные характеристики грунта	
<b>Угол внутреннего трения, град -</b>	<b>42</b>
<b>Силы сцепления, МПа -</b>	<b>0,00</b>

Описание грунта	

Образец № 12-10-стб1

## Литература

1. Яппу Г.Б. Сборник «Гидротехнические лаборатории НИИГ», 1931.
2. Яппу Г.Б. Определение строительных свойств грунтов, «Гидротехническое строительство», №2, 1936.
3. Шеляпин С.П. Новый прибор для определения коэффициента внутреннего трения и сил сцепления. Сборник «Строительство на лессовидных грунтах». Госстройиздат, М. – Харьков, 1939.
4. Ботки А.И. О прочности сыпучих и хрупких материалов. «Известия ВНИИГ», т.26, Л. 1940.