

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Дальневосточный государственный технический университет
(ДВГУ им. В.В. Куйбышева)

Кафедра теории сооружений



МЕХАНИКА ГРУНТОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

для студентов специальности
270102 «Промышленное и гражданское строительство»

Составил: к.т.н., доцент Н.Я. Цимбельман



Владивосток – 2010

Одобрено научно-методическим советом университета

УДК 624.13
075

Механика грунтов: метод. указания / сост. Н.Я. Цимбельман.
– Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2010. – 52 с.

Методические указания разработаны в соответствии с государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки бакалавров техники и технологии, дипломированных специалистов и рабочей учебной программой по дисциплине «Механика грунтов» для студентов специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство».

В методических указаниях рассматривается постановка и порядок проведения лабораторных работ, направленных на определение физико-механических характеристик грунтов с применением оборудования, изготавливаемого фирмой ООО «Геотек» (г. Пенза). Необходимая информация и пояснения к использованию оборудования для лабораторного практикума в ВУЗах предоставлены профессором ПГУАС, д.т.н., проф. Болдыревым Г.Г.

Методические указания предназначены для студентов строительных специальностей, магистров, аспирантов, преподавателей и могут быть использованы в работе техников, лаборантов, конструкторов - проектировщиков и строителей.

Рецензенты:

А.А. Ковалевский, канд. техн. наук, Засл. строитель РФ, директор Научно-внедренческой фирмы «ТЭРУС»;

Т.Н. Пронкина, ст. препод. кафедры теории сооружений ДВГТУ.

Компьютерная вёрстка – А.В. Попова

Печатается с оригинал-макета, подготовленного автором.

Редактор _____
Техн. редактор _____

Подписано в печать _____ . Формат 60x84/16
Усл. печ. л. 2,1. Уч.- изд. л. 1,3.
Тираж 100 экз. Заказ _____

Издательство ДВГТУ, 690950, Владивосток, ул. Пушкинская, 10
Типография издательства ДВГТУ, 690950, Владивосток, ул. Пушкинская, 10

© Н.Я. Цимбельман, 2008
© ДВГТУ, изд-во ДВГТУ, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА	
«КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТА».....	5
1 . Виды сжатия грунта	5
2 . Постановка испытаний	6
3 . Проведение испытания для определения характеристик m_0 и E_0	7
4 . Обработка результатов испытания	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА	
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ОДНОПЛОСКОСТНОГО СРЕЗА».....	14
1. Постановка испытания	14
2. Проведение неконсолидированно – недренированного испытания	16
3. Проведение консолидированно – дренированного испытания	19
4 . Обработка результатов испытания	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА	
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ТРЁХОСНОГО СЖАТИЯ».....	24
1. Общие положения	24
2. Постановка испытаний	25
3. Типы трёхосных испытаний	27
4. Методика проведения неконсолидированно – недренированного испытания	28
5 . Обработка результатов испытаний	32
ЛИТЕРАТУРА	34
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	
Журнал испытания грунта методом компрессионного сжатия	35
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	
Журнал испытания грунта методом одноплоскостного среза	36
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	
Журнал испытания грунта методом трёхосного сжатия	37
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	
Порядок загрузки одометра	38
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	
Порядок загрузки прибора одноплоскостного среза.....	41
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	
Порядок загрузки прибора трёхосного сжатия	49

ВВЕДЕНИЕ

Лаборатория механики грунтов, оснований и фундаментов (ЛамГОФ) при кафедре теории сооружений ДВГТУ (ДВПИ им. В.В. Куйбышева) образована в 1947 году. Рассматриваемая в методических указаниях часть оборудования лаборатории приобретена в рамках осуществления государственной образовательной программы «Развитие Дальневосточного образовательного научно-технологического центра для формирования инновационного терминала России в Азиатско-тихоокеанском регионе»¹.



Рис. 1. Общий вид смонтированного оборудования

В данной работе рассматривается постановка и порядок проведения испытания образцов немёрзлых грунтов на компрессионное сжатие, одноплоскостной срез и трёхосное сжатие. Представленные программы проведения испытаний и обработки результатов адаптированы к использованию оборудования, производимого отечественной фирмой ООО «Геотек» (г. Пенза). Необходимая информация и пояснения к использованию оборудования для лабораторного практикума в ВУЗах предоставлены профессором кафедры «Основания и фундаменты» ПГУАС, д.т.н., проф. Болдыревым Г.Г.

¹ Государственная образовательная программа в строительном институте ДВГТУ реализуется в рамках деятельности Научно-образовательного центра (НОЦ) «Строительство, новые материалы и эксплуатация объектов инфраструктуры территорий и континентального шельфа Дальнего Востока»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТА»

1. Виды сжатия грунта

Испытания методом компрессионного сжатия проводят для определения основных характеристик деформируемости грунта: коэффициента сжимаемости m_o и модуля общей деформации E_o . Модуль общей деформации является основным показателем для оценки сжимаемости грунтов: к *сильносжимаемым* (слабым) относят грунты, для которых $E_o \leq 5 \text{ МПа}$, к *среднесжимаемым* – грунты, для которых $5 < E_o \leq 20 \text{ МПа}$, *слабосжимаемые* (прочные) грунты имеют модуль общей деформации E_o более 20 МПа.

Помимо указанных основных параметров возможно также определение структурной прочности грунта на сжатие, коэффициентов фильтрационной и вторичной консолидации, относительного суффозионного сжатия и начального давления суффозионного сжатия для некоторых видов грунтов [1].

Указанные характеристики определяют по результатам испытаний образцов грунта на сжатие в компрессионных приборах с жесткими стенками (**одометрах**) или компрессионно-фильтрационных приборах (при определении характеристик суффозионного сжатия), исключающих возможность бокового расширения образца грунта при сообщении ему вертикальной нагрузки.

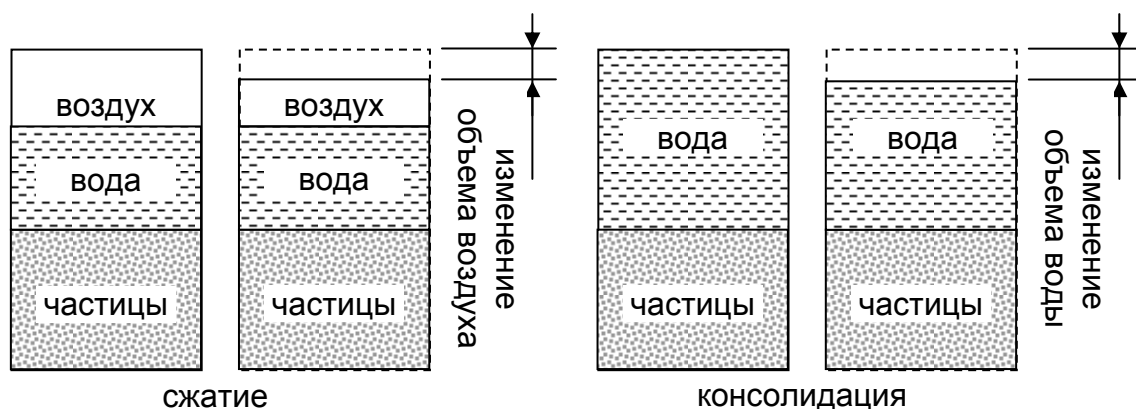


Рис. 2. Схемы сжатия и консолидации грунта

Указанные характеристики деформирования характеризуют процесс сжатия грунта в результате изменения его объема. Различают собственно сжатие грунта и консолидацию грунта (рис. 2). Для *сжатия* характерно изменение объема грунта за счет уменьшения объема пор, при этом в процессе уплотнения изменения объема воды не происходит. В процессе *консолидации* грунта объем воды в единице грунта уменьшается вследствие её отжатия (фильтрации) при действии внешней нагрузки, в результате чего грунт уплотняется. Поскольку вода медленно отжимается из порового пространства, консолидация продолжается длительное время.

2. Постановка испытаний

В состав установки для испытания грунта в условиях компрессионного сжатия входят: компрессионный прибор – одометр (схема устройства одометра приведена на рис. 3, общий вид прибора – на рис. 4, б), и устройство нагружения – силовая рама (общий вид установки – рис. 4, а), (порядок загрузки см. Приложение 4).

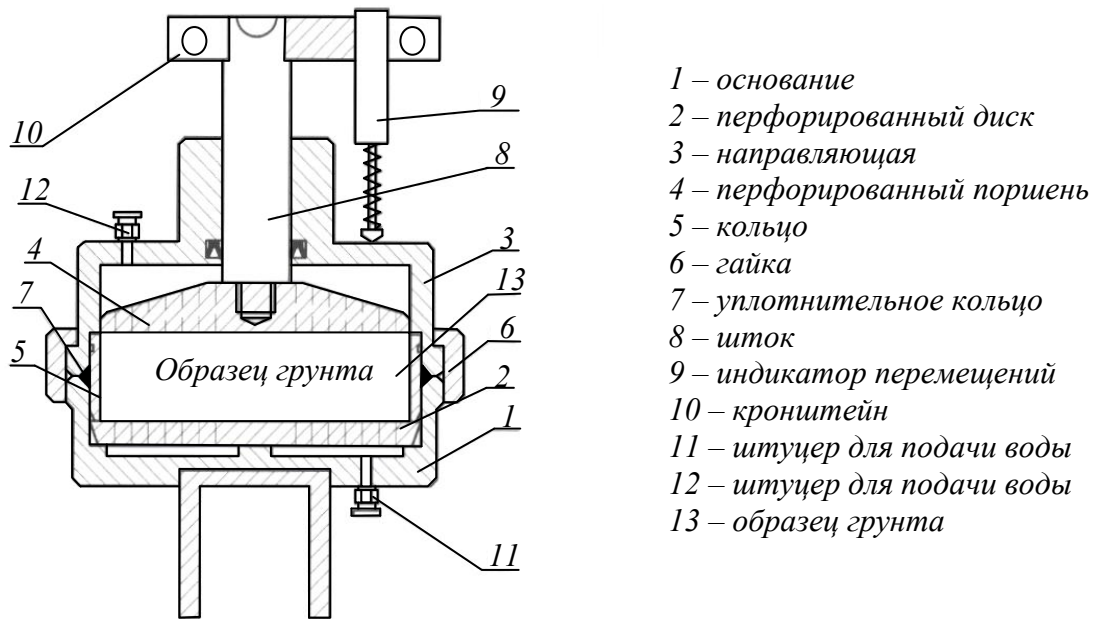


Рис. 3. Конструкция одометра

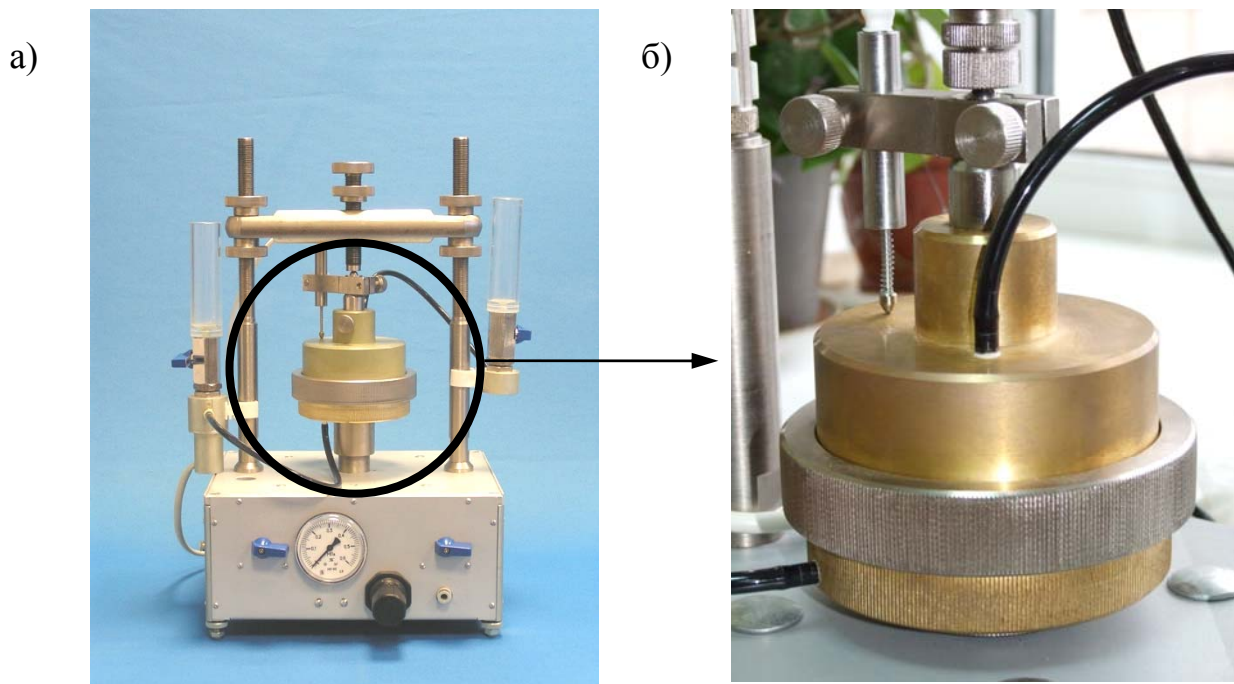


Рис. 4. Установка компрессионного сжатия
а – установка нагружения; б – одометр

Нагрузка на образец грунта прикладывается ступенями, последующая ступень принимается, как правило, равной удвоенному значению предыдущей. Наибольшее значение ступени нагрузки принимается равным полуторному значению давления под подошвой проектируемого сооружения.

Для испытаний используют образцы грунта ненарушенного сложения с природной влажностью или водонасыщенные, или образцы нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности.

Образец имеет диаметр 87 мм (площадь поперечного сечения образца – 60 см²) и высоту 25 мм, и помещается в кольцо путем его вдавливания в монолит или засыпкой песка с заданной плотностью.

Образец грунта в рабочем кольце взвешивают, покрывают с торцов влажными фильтрами и помещают в компрессионный прибор.

3. Проведение испытания для определения характеристик m_0 и E_0

Первую ступень давления P_I при испытании песков, в том числе заторфованных, принимают в зависимости от коэффициента пористости e по табл. 1 (ГОСТ 12248-96), а последующие ступени давления P_I принимают равными 0,0125; 0,025; 0,05; 0,1 МПа и далее с интервалом 0,1 МПа до заданного значения нагрузки [2].

Таблица 1

Коэффициент пористости e	$e \geq 0,75$	$0,75 > e > 0,6$	$e \leq 0,6$
Первая ступень давления P_I , МПа	0,0125	0,025	0,05
*В отдельных случаях, предусмотренных заданием, могут быть приняты более дробные ступени давления P_I , исходя из особенностей деформируемости грунта, условий отсыпки и условий возведения сооружения.			

На каждой ступени нагружения образца снимают отсчёты по индикаторам перемещений в указанной последовательности: первый отсчет - сразу после приложения нагрузки, затем через 0.25; 0.5; 1.0; 2.0; 5.0; 10.0; 20.0; 30.0 мин, и далее с интервалом 1 ч в течение рабочего дня, а затем - в начале и конце рабочего дня до условной стабилизации деформации образца. Для условий учебной лабораторной работы допускается снимать показания датчика перемещений 0.25; 0.5; 1.0; 3.0; 4.0 и 8.0 мин.

За критерий условной стабилизации деформации принимают скорость деформации образца, не превышающую 0,01 мм за последние 4 ч наблюдений для песков, 16 ч - для глинистых и 24 ч - для органоминеральных и органических грунтов.

Новое испытание

Выбор строительной площадки, скважины и ИГЭ.
 Выберите строительную площадку, скважину и ИГЭ или создайте их.

Пользовательская база данных

Строительная площадка: Новая строительная площадка ...

Скважина: Новая скважина ...

ИГЭ: Новый ИГЭ ...

Грунт: Песок ...

Образец №: Образец №3

Описание:

От: 03.09.2009 16:50:45

Рис. 6. Ввод параметров образца грунта

Новое испытание

Выбор схемы нагружения.

Выбранная схема нагружения: По умолчанию ...

Схема нагружения

Ступени нагружения

Ступень №	Величина нагрузки, кПа	№ ступени разгрузки	Количество циклов
1	100,00	0	0
2	200,00	0	0

Приращение: 100,00 кПа Добавить Удалить

Условная стабилизация деформаций

Час. Мин. Сек. Час. Мин. Сек.

Время: 00 : 00 : 30 Период: 00 : 00 : 10 Параметр: 0,010 мм

Дополнительно

☐ Испытание на консолидацию

☐ Пользовательская тарифовка

< Назад Далее > Отмена

Рис. 7. Ввод нагрузки и времени испытаний

5. Нажать на кнопку «Далее» и ввести ступени давления и параметры времени в появившемся меню испытаний (рис. 7).
6. Нажать на кнопку «Далее» и ввести высоту, вес и диаметр образца.
7. Нажать на кнопку «Готово»: на экране компьютера появится окно программы испытаний, в котором будут отображаться результаты нагружения образца грунта и измерения вертикальной деформации (рис. 9).

4. Обработка результатов испытания

Для определения характеристик m_0 и E_0 по результатам испытания для каждой ступени нагружения вычисляют:

а) абсолютную вертикальную стабилизированную деформацию образца грунта Δh , мм, как среднее арифметическое показаний измерительных приборов за вычетом поправки на деформацию компрессионного прибора Δ ;

б) относительную вертикальную деформацию ε образца грунта по формуле (здесь h – начальная высота образца, мм):

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h}; \quad (1)$$

в) по вычисленным значениям строят график зависимости $\varepsilon = f(P)$ - пример на рис. 8;

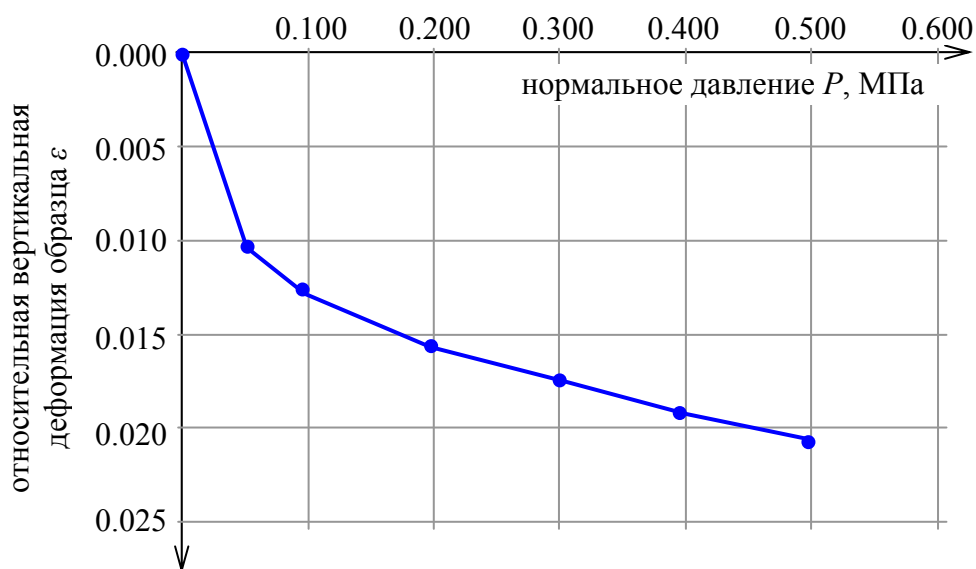


Рис. 8
Зависимость
вертикальной
деформации от
давления

г) вычисляют коэффициенты пористости e_i грунта при давлениях P_i по формуле:

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

Здесь e_0 – начальный коэффициент пористости.

Коэффициент сжимаемости m_0 , МПа^{-1} , в заданном интервале давлений P_i и P_{i+1} вычисляют с точностью $0,001 \text{ МПа}^{-1}$ по формуле:

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

где e_i и e_{i+1} – коэффициенты пористости, соответствующие давлениям P_i и P_{i+1} .

Модуль деформации E_0 , МПа, в интервале давлений P_i и P_{i+1} вычисляют с точностью 0,1 МПа по формулам:

$$E_0 = \frac{P_{i+1} - P_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i} \cdot \beta, \quad (4)$$

или

$$E_0 = \frac{1 + e_0}{m_0} \cdot \beta, \quad (5)$$

где ε_i и ε_{i+1} – значения относительного сжатия, соответствующие давлениям P_i и P_{i+1} ;

m_0 – коэффициент сжимаемости, соответствующий интервалу давления от P_i до P_{i+1} ; e_0 – начальный коэффициент пористости;

β – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе и вычисляемый по формуле

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

где ν – коэффициент поперечной деформации, определяемый по результатам испытаний в приборах трехосного сжатия (коэффициент Пуассона).

При отсутствии экспериментальных данных допускается принимать ν равным:

0,30 ÷ 0,35 – для песков и супесей;

0,35 ÷ 0,37 – для суглинков;

0,20 ÷ 0,30 – для глин при $I_L < 0$; 0,3 ÷ 0,38 для глин при $0 \leq I_L \leq 0,25$;

0,38 ÷ 0,45 – для глин при $0,25 \leq I_L \leq 1,0$.

При этом меньшие значения ν принимают при большей плотности грунта.

изменения коэффициента пористости от действующего давления – приведена на рис. 10.

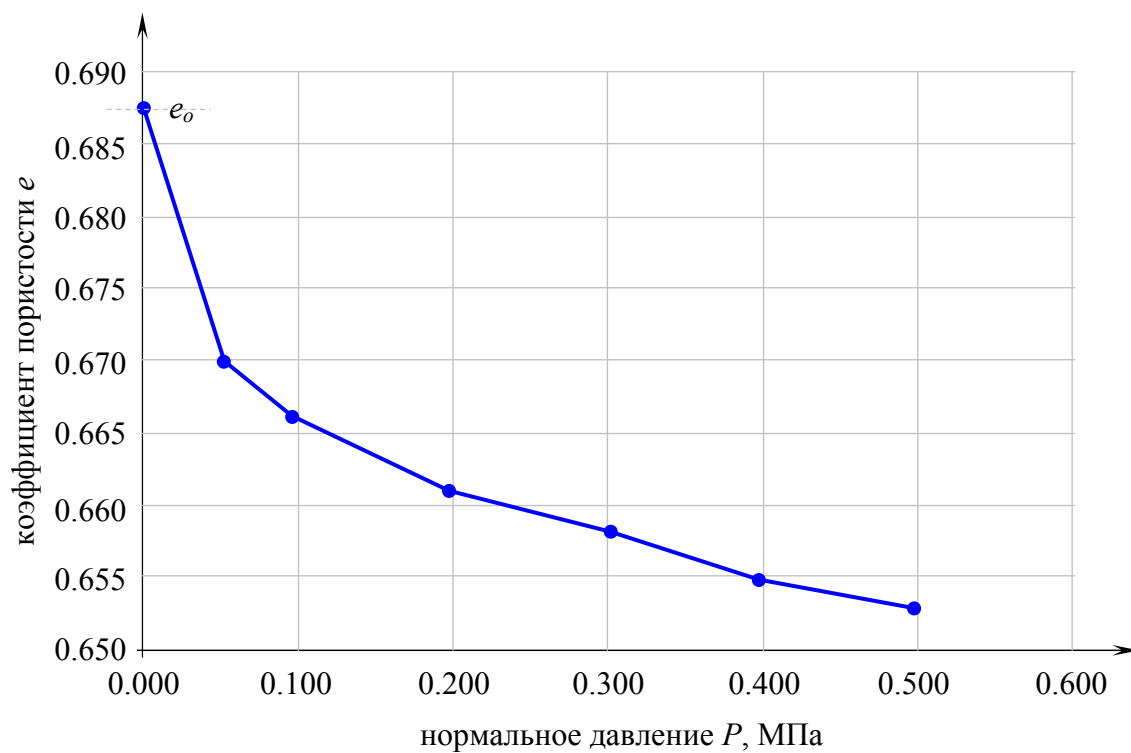


Рис. 10. Компрессионная кривая

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ОДНОПЛОСКОСТНОГО СРЕЗА»

1. Постановка испытания

КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА

Прочностные характеристики (угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c) [3] определяют по результатам испытаний образцов грунта в одноплоскостных срезных приборах с фиксированной плоскостью среза путем сдвига одной части образца относительно другой его части касательной нагрузкой (при одновременном нагружении образца нагрузкой, нормальной к плоскости среза). Схема испытаний приведена на рис. 11. Испытания проводить в соответствии с ГОСТ 12248-96 [2].

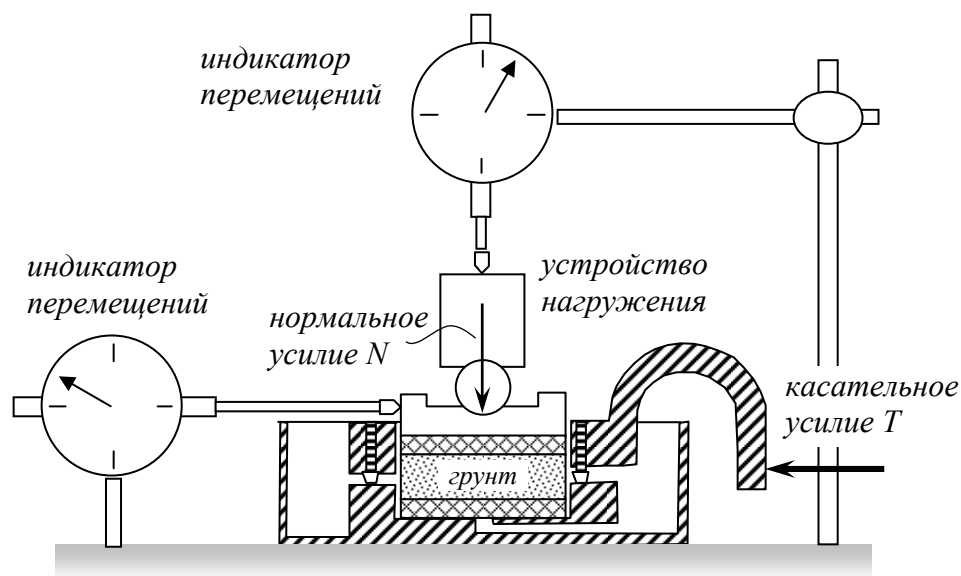


Рис. 11. Конструктивная схема прибора одноплоскостного среза
(в некоторых конструкциях подвижной делают не верхнюю, а нижнюю часть срезывателя)

В зависимости от условий создания касательной нагрузки различают статический и кинематический (непрерывный) способы нагружения.

В статическом способе касательная нагрузка прикладывается ступенями по 5% от значения нормальной нагрузки, при которой производят срез. На каждой ступени нагружения записывают показания приборов для измерения деформаций среза через каждые 2 мин, уменьшая интервал между измерениями до 1 мин в период затухания деформации до её условной стабилизации. За критерий условной стабилизации деформации среза принимают скорость деформации, не превышающую 0,01 мм/мин.

При кинематическом способе создания касательной нагрузки скорость среза должна быть постоянной и соответствовать скорости, указанной в табл.2 (табл. 5.3. в [2]).

Таблица 2

Грунты	Скорость среза, мм/мин
Пески	$\leq 0,5$
Супеси	$\leq 0,1$
Суглинки	$\leq 0,05$
Глины с $I_p < 30\%$	$\leq 0,02$
Глины с $I_p > 30\%$	$\leq 0,01$

Срезыватель (срезная коробка) при статическом нагружении помещается в устройство нагружения: внешний вид лабораторной установки приведён на рис. 12, а. Испытания на срез при непрерывном нагружении проводятся в приборе, показанном на рис. 12, б.

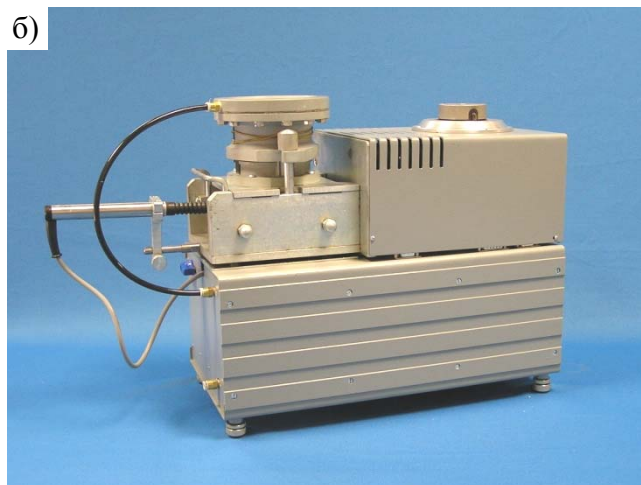


Рис. 12. Срезные приборы:
а – статический способ приложения касательной нагрузки; б – кинематический способ приложения касательной нагрузки

ПРОЦЕДУРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЧНОСТИ

Сопротивление грунта срезу определяют как предельное среднее касательное напряжение, при котором образец грунта срезается по фиксированной плоскости при заданном нормальном напряжении. Для определения φ и c для условий учебной лабораторной работы необходимо

провести не менее трёх испытаний при различных значениях нормального усилия N (см. рис. 11).

СХЕМЫ ИСПЫТАНИЙ

Испытания проводят по следующим схемам:

- *консолидированно-дренированное испытание* - для песков и глинистых грунтов независимо от их степени влажности в стабилизированном состоянии (образец грунта находится между двумя пористыми дисками, через которые возможно отжатие воды из образца грунта);

- *неконсолидированно-недренированное* испытание – для водонасыщенных глинистых и органо-минеральных грунтов в нестабилизированном состоянии, и просадочных грунтов, приведенных в водонасыщенное состояние замачиванием без приложения нагрузки. Проводятся в условиях невозможности отжатия воды из образца грунта (для этого между штампами и торцами образца грунта вводятся тонкие полиэтиленовые диски – плёнки).

Учебная лабораторная работа предполагает проведение *консолидированно-дренированного* испытания.

Для испытаний используют образцы грунта ненарушенного сложения с природной влажностью или в водонасыщенном состоянии, или образцы нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности (в т.ч. при полном водонасыщении), или образцы, отобранные из уплотненного массива, для искусственно уплотненных грунтов. При этом образцы просадочных грунтов испытывают в водонасыщенном состоянии, а набухающих – при природной влажности [1].

2. Проведение неконсолидированно - недренированного испытания

При проведении неконсолидированно-недренированного испытания с использованием оборудования ООО «Геотек» рекомендуется придерживаться приведенной последовательности (см. Приложение 5):

1. Изготавливают образец грунта диаметром 71.5 мм, высотой 35 мм, образец взвешивают.

2. Перемещают срезную каретку в начальное положение до упора (рис. 4 приложения 5).

3. В каретку устанавливают нижний перфорированный штамп и кольцо малой высоты (рис. 6 и 7 приложения 5).

4. Вставляют кольцо с грунтом (с бумажными фильтрами по торцам образца) в верхнюю часть (фланец) прибора.

5. Устанавливают вкладыш на торец образца, затем надавливают рукой на вкладыш и перемещают образец грунта в нижнее кольцо (для пылевато-

глинистого грунта) или помещают пробу сыпучего грунта с уплотнением до заданной плотности (рис. 10 и 11 приложения 5).

6. Устанавливают верхний штамп (рис. 12 и 13 приложения 5).

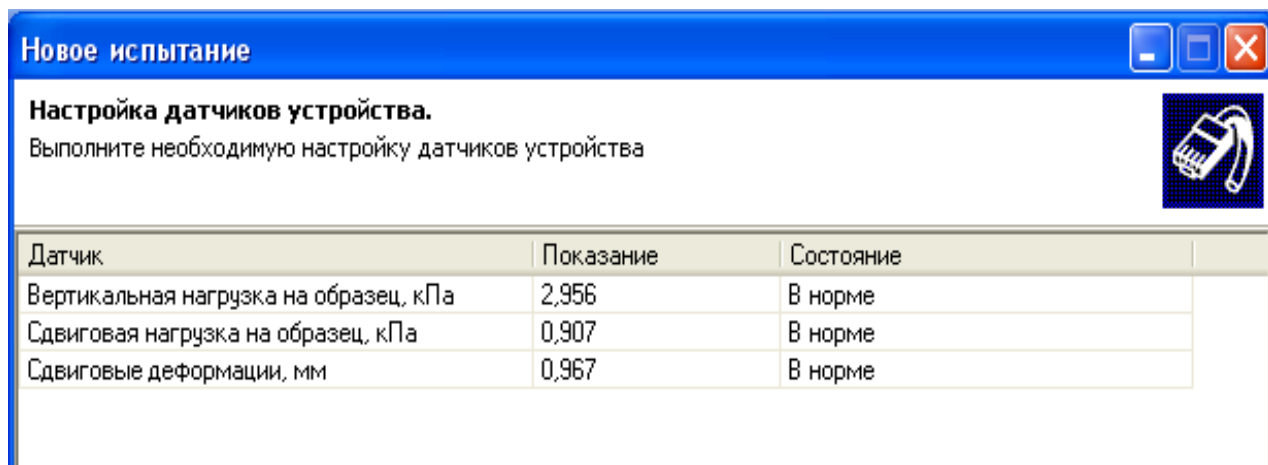


Рис. 13. Контроль начальных показаний датчиков

7. Закрепляют датчик перемещений в держателе таким образом, чтобы шток касался срезной коробки (рис. 14 приложения 5).

8. Запускают программу ASIS GEOTEK. Следует выставить датчик горизонтальных перемещений в начальное положение (рис. 13). Начальное положение показаний датчика перемещений не должно быть более $1 \div 1.5$ мм.

9. Используя меню программы ASIS GEOTEK (рис. 15) вводят величину нормального давления, при котором будет производиться срез образца. Значения нормального давления принимаются по табл. 3.

10. Далее следует установить величину ступени касательной нагрузки: не более 10% от значения нормального давления, а также время предварительного уплотнения – 0.1 мин.

11. Установить интервал времени между ступенями касательной нагрузки $10 \div 15$ сек.

12. Ввести величину предельной деформации среза не менее 5 мм [2].

13. Прибор готов к испытанию.

Geotek ASIS | Файл | Испытание | Вид | Окно | Инструменты | Справка

Тип испытания: Неconsolidированно-недренированный сдвиг по ГОСТ 12248-96

Устройства: Конфигурация комплекта
... Устройство статического нагружения №1

Дата/Время: Журнал событий
Дата/Время: Сообщения

Новое испытание

Выбор строительной площадки, скважины и ИГЭ.
Выберите строительную площадку, скважину и ИГЭ или создайте их.

Пользовательская база данных

Строительная площадка: Ул. Танбовская

Скважина: Скважина №4

ИГЭ: ИГЭ №4

Грунт: Песок

Образец №: Образец №10

Описание:

От: 12.10.2009 15:49:32

< Назад | Далее > | Отмена

Рис. 14. Выбор схемы испытания

Таблица 3

Грунты	Нормальное давление σ , МПа
Глинистые и органо-минеральные грунты с показателем текучести:	
$I_L < 0,5$	0,1; 0,15; 0,2
$0,5 \leq I_L < 1,0$	0,05; 0,1; 0,15
$I_L \geq 1,0$	0,025; 0,075; 0,125

Новое испытание

Выбор схемы нагружения.

Выбранная схема нагружения: По умолчанию

Схема нагружения

Нормальное давление: 100,00 кПа

Создание касательной нагрузки

☒ Ступенями

Время предварительного уплотнения: 00 : 30 : 00 Час. Мин. Сек.

Величина ступени касательной нагрузки: 10,00 %

Время между ступенями касательной нагрузки: 00 : 00 : 10 Час. Мин. Сек.

☐ Непрерывно

Предельная деформация: 5,000 мм

Рис. 15. Меню неконсолидированно-недренированного испытания

3. Проведение консолидированно - дренированного испытания

1. Вначале следует выполнить предварительное уплотнение образцов грунта в приборе предварительного уплотнения: не менее трех образцов для каждой ступени нормального давления (табл. 4).

Таблица 4

Грунты	Нормальное давление при предварительном уплотнении, МПа	Ступени давления, МПа
Пески средней крупности плотные; глины с $I_L < 0$	0.1; 0.3; 0.5	0.1
Пески средней крупности и средней плотности; пески мелкие плотные и средней плотности; 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; супеси, суглинки и глины с $I_L > 0,5$	0.1; 0.15; 0.2	0.025 до $P = 0.1$ и далее 0.05
Примечание – нормальное давление σ при предварительном уплотнении образцов просадочного грунта, испытываемых в водонасыщенном состоянии, должно составлять 0,3 МПа и возрастать ступенями $\Delta\sigma = 0.05$ МПа.		

Каждую ступень давления при предварительном уплотнении выдерживают в течение времени, указанного в табл. 5, а конечную ступень – до достижения условной стабилизации деформации сжатия образца грунта.

Таблица 5

Грунты	Время насыщения образцов водой, не менее	Время выдерживания ступеней, не менее	Время условной стабилизации деформаций сжатия на конечной ступени, не менее
Пески	10 мин	5 мин	20 мин
Глинистые (непросадочные и ненабухающие):			
- супеси	3 ч		2 ч
- суглинки с $I_p < 12$	6 ч		6 ч
- суглинки с $I_p \geq 12$	12 ч	30 мин	12 ч
- глины с $I_p < 22$	12 ч		12 ч
- глины с $I_p \geq 22$	36 ч		12 ч
Просадочные	Так же, как для непросадочных	30 мин	3 ч
Набухающие	До достижения условной стабилизации деформации набухания – 0.1 мм за 24 ч	30 мин	Так же, как для ненабухающих

2. Выполнить действия согласно п. 1 – 7 неконсолидированно-недренированных испытаний.

3. Используя меню программы ASIS GEOTEK (рис. 16) вводят величину нормального давления, при котором будет производиться срез образца. Значения нормального давления принимаются по табл. 3.

4. Используя меню программы (рис. 14) вводят время предварительного уплотнения грунта, не менее:

- 5 минут для песков;
- 15 минут для супесей;
- 30 минут для суглинков и глин;
- 10 минут при повторном срезе.

5. Установить величину ступени касательной нагрузки, которая должна составлять 5% от значения нормальной нагрузки.

6. Ввести время стабилизации деформации сдвига – 30 сек.

7. Ввести период стабилизации деформации сдвига – 10 сек.

8. Ввести параметр стабилизации деформации сдвига – 0.001 мм.

9. Прибор готов к испытанию.

В процессе испытания следует вести журнал, рекомендуемая форма которого приведена в приложении 2.

Рис. 16. Ввод параметров консолидированно-дренированных испытаний

4. Обработка результатов испытания

Обработка результатов выполняется с использованием программы ASIS Report, в соответствии с методикой, приведенной в ГОСТ 12248-96 [2].

По измеренным в процессе испытания значениям касательной и нормальной нагрузок вычисляют касательные $\tau_{пред}$ и нормальные σ напряжения по формулам:

$$\tau = \frac{T_{пред}}{A}, \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{N}{A}, \quad (8)$$

где $T_{пред}$ и N - предельная касательная и заданная нормальная силы к плоскости среза, кН;
 A - площадь среза, см² (в данном случае 40 см²).

Определение $\tau_{пред}$ необходимо проводить не менее чем при трёх различных значениях σ .

Из каждого значения $\tau_{пред}$ вычитают поправку за счет трения в приборе по заранее построенной тарировочной кривой. При фиксации хода испытаний автоматическими приборами в полученную диаграмму среза также вносятся поправки за счет трения в приборе (в данном случае – автоматически).

По измеренным в процессе испытания значениям деформаций среза Δl , соответствующим различным напряжениям τ , строят график зависимости $\varepsilon = f(\tau)$ (рис. 17).

За сопротивление грунта срезу принимают максимальное значение $\tau_{пред}$, полученное по графику $\varepsilon = f(\tau)$.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{h} \quad (8a)$$

где ε - относительная деформация;
 h - первоначальная высота образца, см.

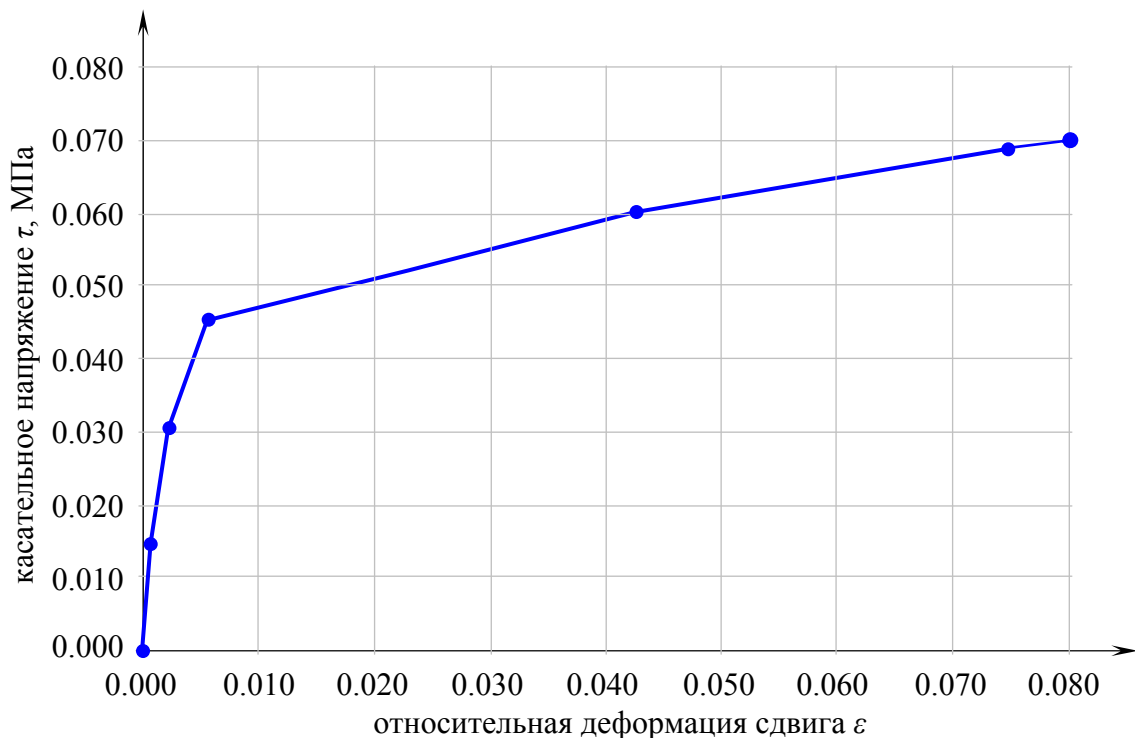


Рис. 17. Зависимость деформации сдвига от касательного напряжения

Если τ возрастает монотонно, то за сопротивление грунта срезу следует принимать $\tau_{пред}$ при $\Delta l = 5$ мм (значение деформации сдвига, равное 0,08 на рис. 9).

Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c определяют как параметры линейной зависимости уравнения условия прочности (рис. 18):

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad (9)$$

Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c вычисляют по формулам:

$$\varphi = \arctg \left(\frac{n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2} \right); \quad (10)$$

$$c = \frac{\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \sum \tau_i \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (11)$$

где τ_i – опытные значения сопротивления срезам, определенные при различных значениях σ_i , и относящиеся к одному инженерно-геологическому элементу или отдельному монолиту грунта (при $n \geq 3$);

n – число испытаний.

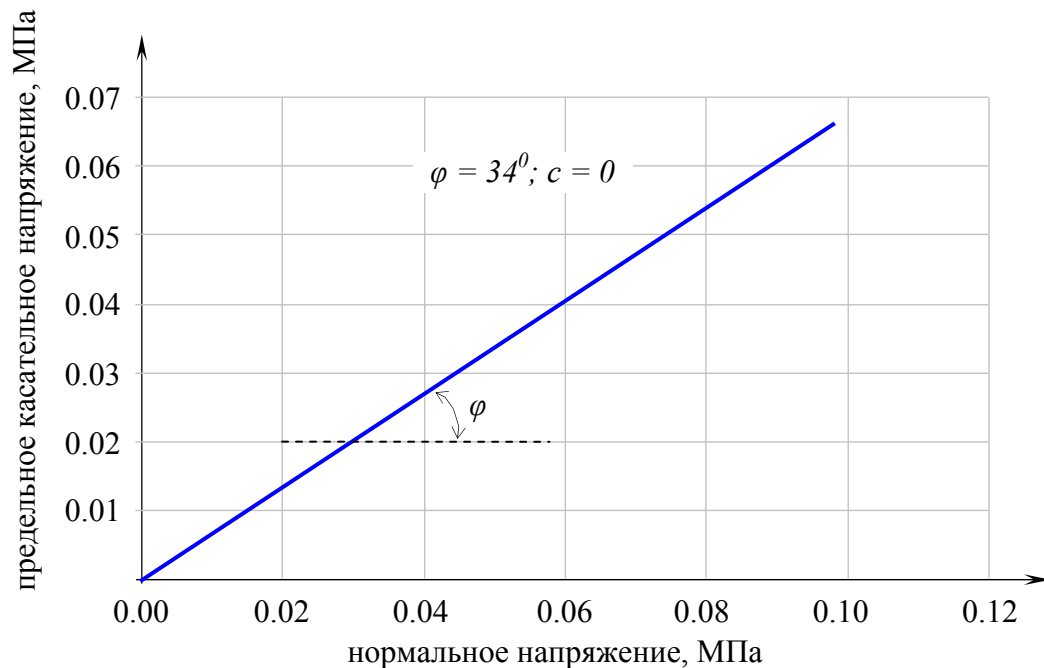


Рис. 18. График зависимости предельного касательного напряжения от нормального давления для песчаного грунта (при $c = 0$)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ТРЁХОСНОГО СЖАТИЯ»

1. Общие положения

Для определения основных прочностных характеристик грунтов (угол внутреннего трения φ , удельное сцепление c) наряду с одноплоскостным срезом проводят также испытания на трёхосное сжатие. Эти испытания являются более трудоёмкими, но в то же время более точными, в результате чего в ряде стран при определении прочностных характеристик грунтов испытание на трёхосное сжатие является более предпочтительным, чем срез. Трёхосное сжатие позволяет определить также основные деформативные характеристики грунтов: модуль общей деформации E_0 и коэффициент Пуассона ν .

Испытания цилиндрических образцов грунта проводятся в условиях осесимметричной деформации, в рабочей камере, схема которой показана на рис. 19. Образец грунта имеет отношение высоты к диаметру, как правило, не менее 2. Диаметр образцов принимается равным **38** мм, высота **73** мм.

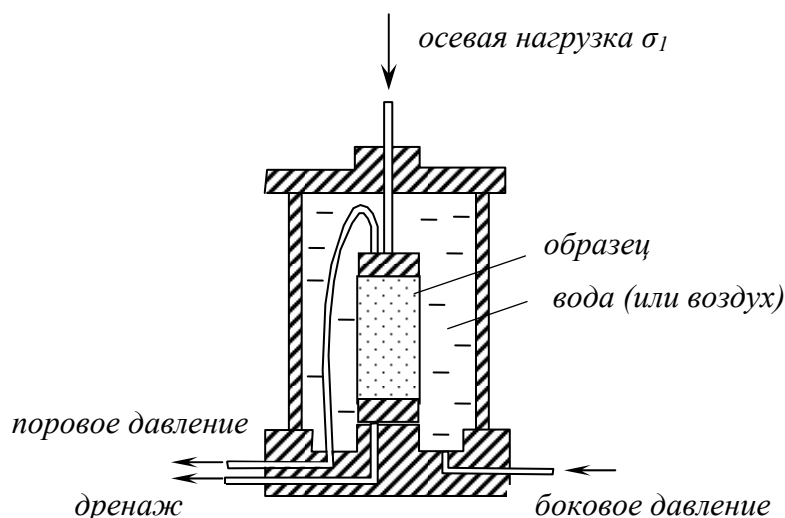


Рис. 19. Конструкция рабочей камеры (прибор типа «А»)

На рис. 20 показана конструкция приборов трёхосного 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 главные напряжения $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ (см. рис. 21).

Прибор типа «Б» рекомендуется использовать при определении прочностных и деформационных характеристик грунтов в условиях предварительной анизотропной консолидации, т.е. когда $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$ (см. рис. 21).

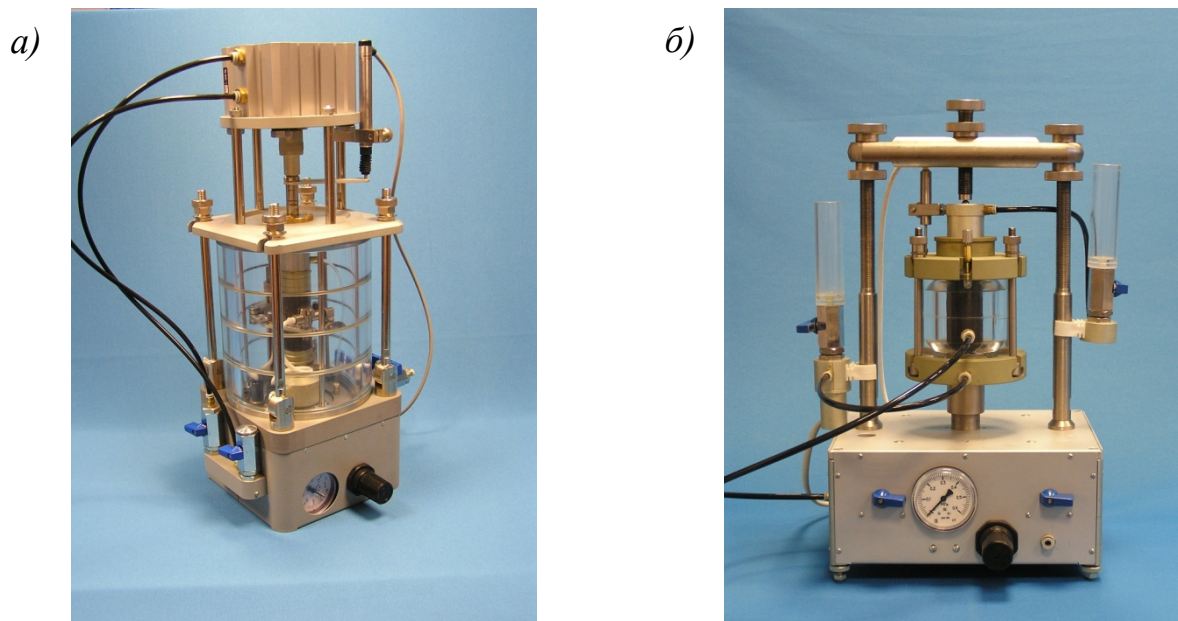


Рис. 20. Прибор трёхосного сжатия (стабилометр): а – типа А; б – типа Б

При проведении лабораторной работы предполагается использование стабилометра типа «Б» (рис. 20, б).

2. Постановка испытаний

Боковое давление, создаваемое воздухом в рабочей камере, $\sigma_3 = \sigma_2$ (рис. 21) поддерживается постоянным, а вертикальное напряжение σ_1 увеличивается ступенями $\Delta\sigma_1$ (рис. 21). При определенной величине разности (девиаторе) напряжений ($\sigma_1 - \sigma_3$) наступает разрушение образца по наклонной плоскости (рис. 22). В отличие от испытаний на прямой срез, где плоскость среза определена конструктивно (горизонтальна), в приборе трёхосного сжатия положение плоскости разрушения зависит от условий нагружения.

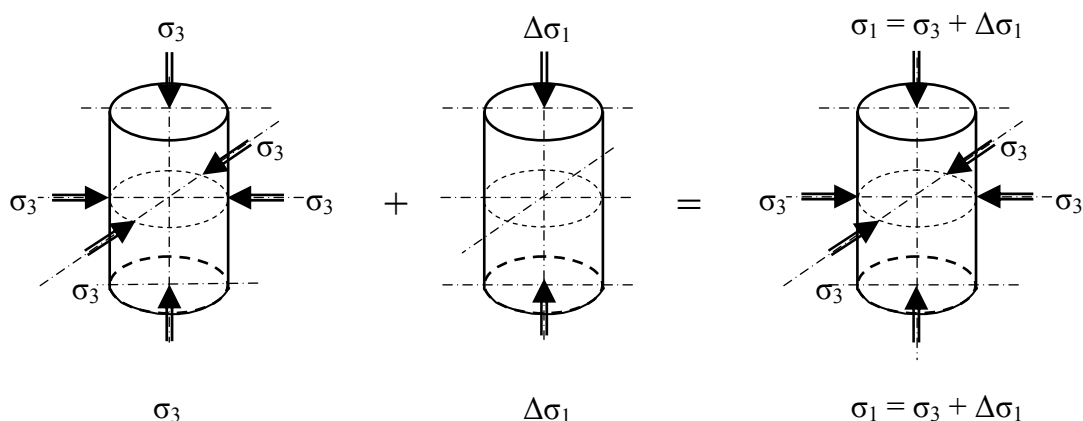


Рис. 21. Предварительное обжатие образца и добавочное обжатие внешней нагрузкой (для стабилометра типа «Б» по вертикальной оси $\sigma_3 = 0$)

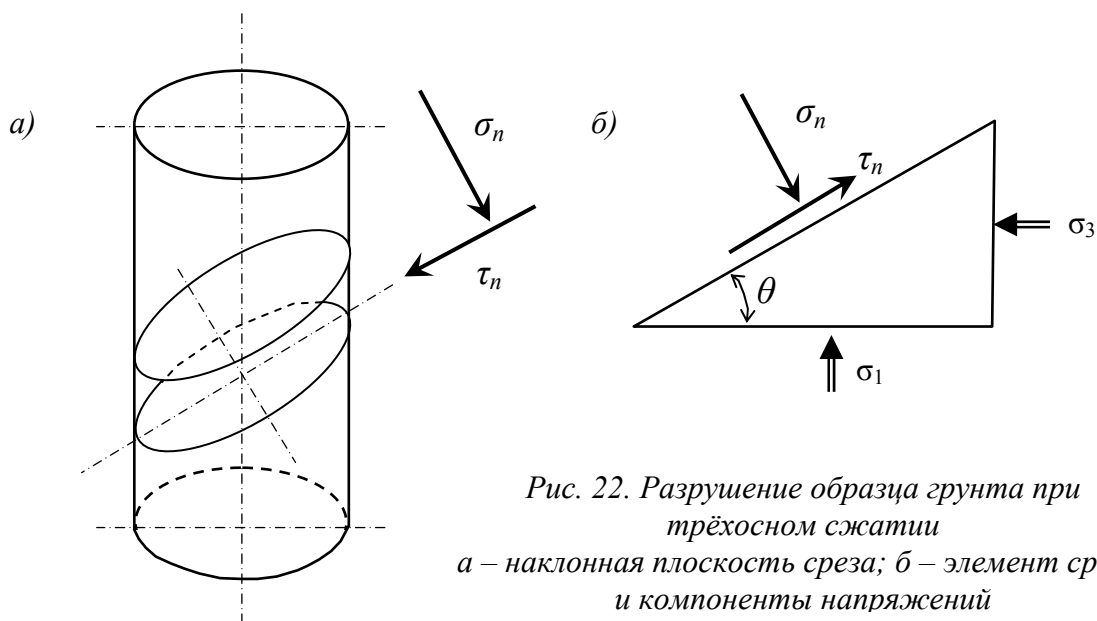


Рис. 22. Разрушение образца грунта при трёхосном сжатии
а – наклонная плоскость среза; б – элемент среды и компоненты напряжений

Касательное τ_n и нормальное напряжение σ_n на плоскости разрушения могут быть найдены из уравнений равновесия, если известно значение угла наклона θ данной плоскости в предельном состоянии.

В некоторых случаях из опытов трудно найти угол наклона θ плоскости разрушения, так как в образце не образуется видимой плоскости разрушения: образец деформируется в виде «бочки» (рис. 23). В этом случае за разрушающую нагрузку принимается значение напряжения, соответствующего деформации образца, равной 20% окончательной вертикальной деформации.

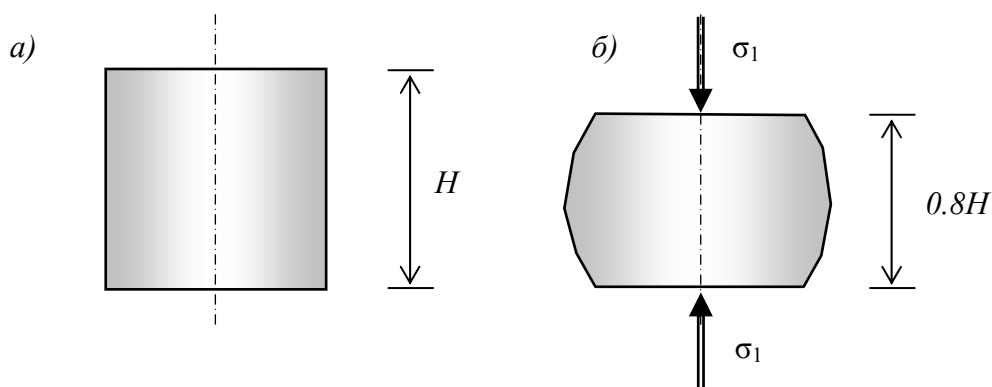


Рис. 23. Разрушение образца «в виде бочки»
а – образец до испытания; б – образец после испытания

Если на графике нанести все значения τ_n и σ_n для каждого угла θ от 0 до 90° , то получим круг радиусом $\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$ с центром $\tau = 0$ и $\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)$. Упомянутый круг называется кругом напряжений Мора (рис. 24).

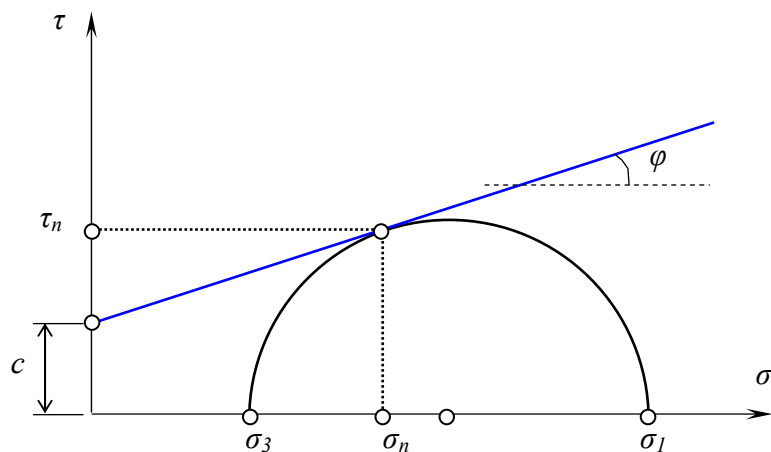


Рис. 24. Круг напряжений Мора и предельная прямая Кулона – Мора

Касательная к кругу Мора, построенного с использованием предельного значения напряжения σ_1 является предельной прямой, позволяющей определить характеристики ϕ и c . Для случая связных грунтов необходимо построить не менее двух предельных круга Мора, т. е. провести опыты при различных значениях бокового давления σ_3 (рис. 25).

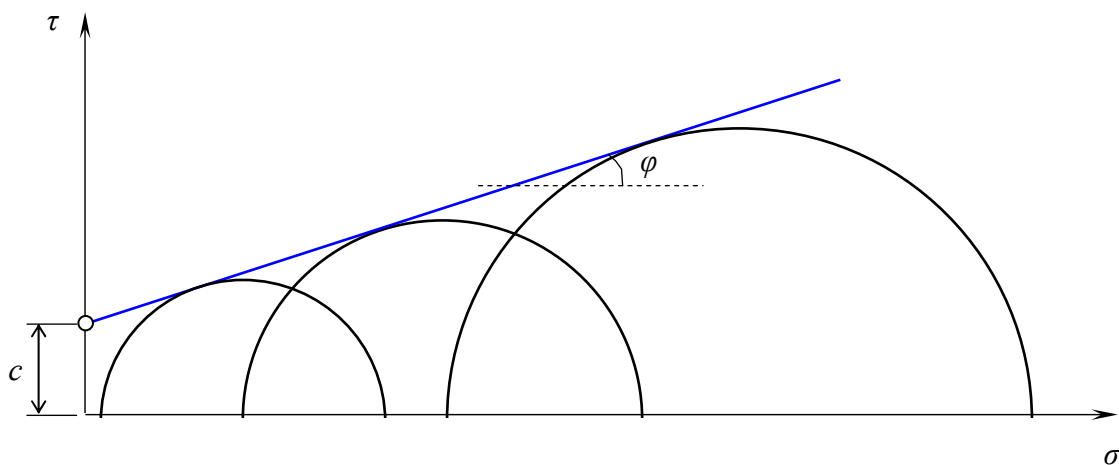


Рис. 25. Предельная прямая Кулона-Мора для связного грунта

3. Типы трёхосных испытаний

НЕКОНСОЛИДИРОВАННО-НЕДРЕНИРОВАННОЕ ИСПЫТАНИЕ

Проводится в условиях невозможности отжатия воды из образца грунта. Для этого между нагрузочными штампами и торцом образца грунта вводятся тонкие полиэтиленовые диски. Скорость приложения нагрузки быстрая, не превышает 2 минут. Поровое давление не измеряется в ходе опыта. Параметры прочности c и ϕ определяются как функция полных напряжений. Считается, что данные испытания проводят по «быстрой схеме».

КОНСОЛИДИРОВАННО-ДРЕНИРОВАННОЕ ИСПЫТАНИЕ

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» трёхосных испытаний. По меньшей мере, необходимо провести не менее трёх испытаний при различном боковом давлении, чтобы построить предельную прямую.

КОНСОЛИДИРОВАННО-НЕДРЕНИРОВАННОЕ ИСПЫТАНИЕ

Образец грунта находится между двумя пористыми дисками, через которые возможно отжатие воды из образца грунта. После создания бокового давления дожидаются рассеивания порового давления.

Затем кран дренирования закрывается, и образец нагружается до разрушения. В течение недренированной стадии нагружения поровое давление измеряется. Стадия консолидации обычно занимает 24 часа, а стадия сдвига от 2 минут до 2 часов.

Используя результаты испытаний нескольких образцов, можно построить круги Мора, и, проведя к ним касательную, определить параметры прочности φ и c для условий консолидировано-недренированного нагружения.

Учебная лабораторная работа предполагает проведение *неконсолидированно-недренированного* испытания.

4. Методика проведения неконсолидированно - недренированного испытания

Испытание грунта методом трёхосного сжатия проводят для определения следующих характеристик прочности и деформируемости: угла внутреннего трения φ ; удельного сцепления c , модуля общей деформации E_0 , а также порового давления для песков, глинистых, органо-минеральных и органических грунтов [1].

Испытания проводятся по методике ГОСТ 12248-96 в приборе трёхосного сжатия типа «Б» (стабилометр), конструкция которого показана на рис. 20,б (порядок загрузки прибора трёхосного сжатия см. приложение 6).

Последовательность проведения любого типа трёхосного испытания грунта заложена в программу испытаний GEOTEK ASIS, которую следует запустить до установки образца грунта, и выбрать необходимую схему испытаний (рис. 26).

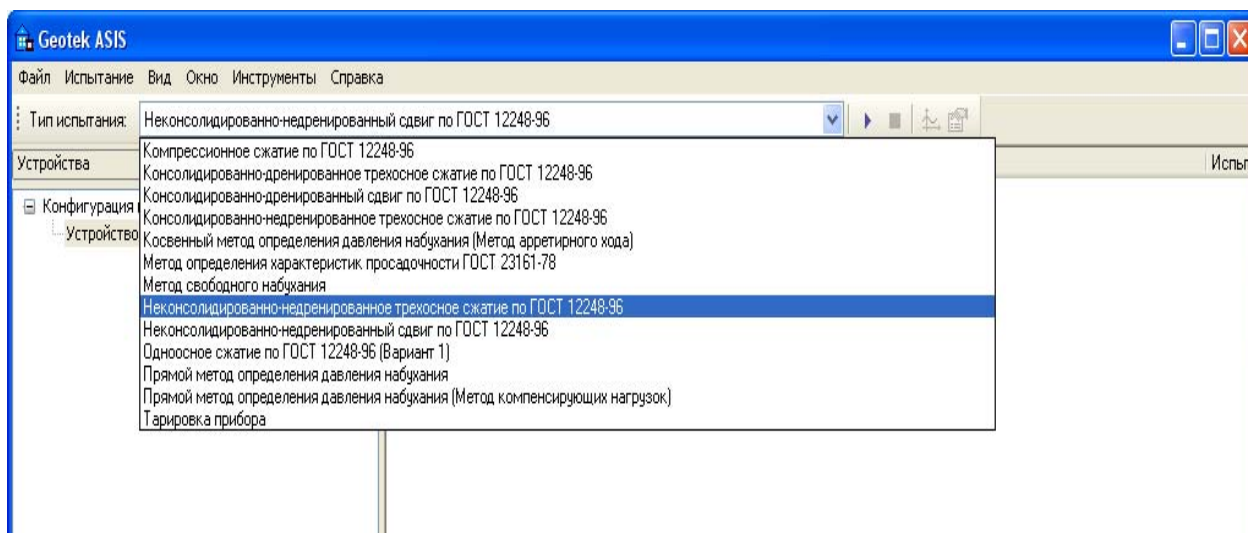


Рис. 26. Главное меню программы испытаний

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 ε , 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. Выбрать наименование прибора трёхосного сжатия (например СТБ-1), а затем в меню «Схема испытаний» выбрать схему «неконсолидированно-недренированная», в результате появится следующее окно (рис. 27).

Новое испытание

Выбор схемы нагружения.

Выбранная схема нагружения: По умолчанию

Схема нагружения

Боковое обжатие

Ступень №	Величина нагрузки, кПа	№ ступени разгрузки	Количество циклов
1	0,10	0	0

Время предварительного уплотнения: Час. Мин. Сек. 00 : 00 : 30

Добавить Удалить

Вертикальное нагружение

Ступень вертикального давления: 10,00 %

Циклы нагрузки-разгрузки

Относит. верт. деформация, %	Величина разгрузки, %	Количество циклов
------------------------------	-----------------------	-------------------

Время между ступенями вертикального давления: Час. Мин. Сек. 00 : 00 : 30

Добавить Удалить

Предельная относительная вертикальная деформация: 15,000 %

Влагонасыщение

Производить влагонасыщение ☐

< Назад Далее > Отмена

Рис. 27. Окно параметров прибора

3. Ввести параметры прибора:

а) боковое обжатие

Испытание начинается с бокового обжатия образца. При боковом обжатии кран дренирования должен быть закрыт, а система заполнена воздухом.

Нагрузка-разгрузка образца (рис. 27). Боковое обжатие производится в одну ступень или в соответствии с программой испытаний. Величина

нагрузки указывается во втором столбце. Возможно программирование циклической нагрузки-разгрузки образца: указать во втором столбце таблицы давление, до которого необходимо разгрузить образец. Во втором 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 (рис. 27). 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.

б) вертикальное нагружение

Степень вертикального давления (рис. 27). Вертикальное нагружение производится ступенями, равными 10% от всестороннего (бокового) давления. Величина ступени вертикальной нагрузки устанавливается в долях от величины последней ступени всестороннего давления.

Нагрузка-разгрузка образца. 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 повторится 3 раза. Т.е. давление будет изменяться следующим образом: 0,1; 0,06; 0,1; 0,06; 0,1; 0,06; 0,1 МПа.

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 (рис. 27). Это интервал времени после окончания создания одной ступени вертикального давления и до начала создания другой.

Предельная относительная вертикальная деформация. Имеется в виду относительная вертикальная деформация образца ε , при достижении которой опыт считается завершенным (рис. 27).

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.

5. Обработка результатов испытаний

Обработка результатов выполняется с использованием программы ASIS Report:

1. Запустить программу ASIS Report и выбрать из базы данных испытаний заданную строительную площадку и номер образца (рис. 28).
2. Нажать кнопку «Экспорт в Excel», в результате появится график зависимости $(\sigma_1 - \sigma_3) = f(\varepsilon_1)$ (рис. 28).
3. Выбрать начальную и конечную ступень нагрузки начального линейного участка зависимости $(\sigma_1 - \sigma_3) = f(\varepsilon_1)$ для определения модуля общей деформации E_0 и коэффициента Пуассона ν . Нажмите на кнопку «ОК»: появится журнал испытаний (см. Приложение 3) и графики различных зависимостей (пример см. на рис. 29).

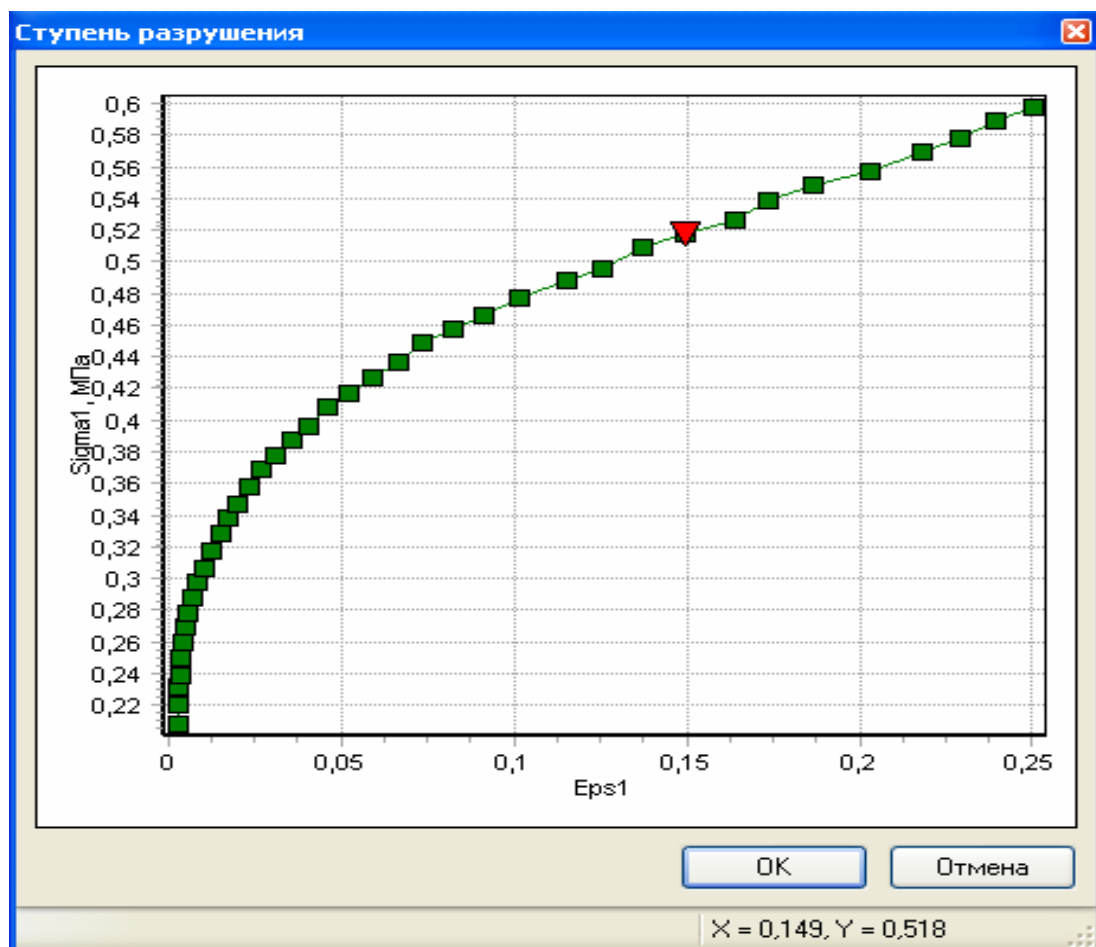


Рис. 28. Обработка результатов испытаний

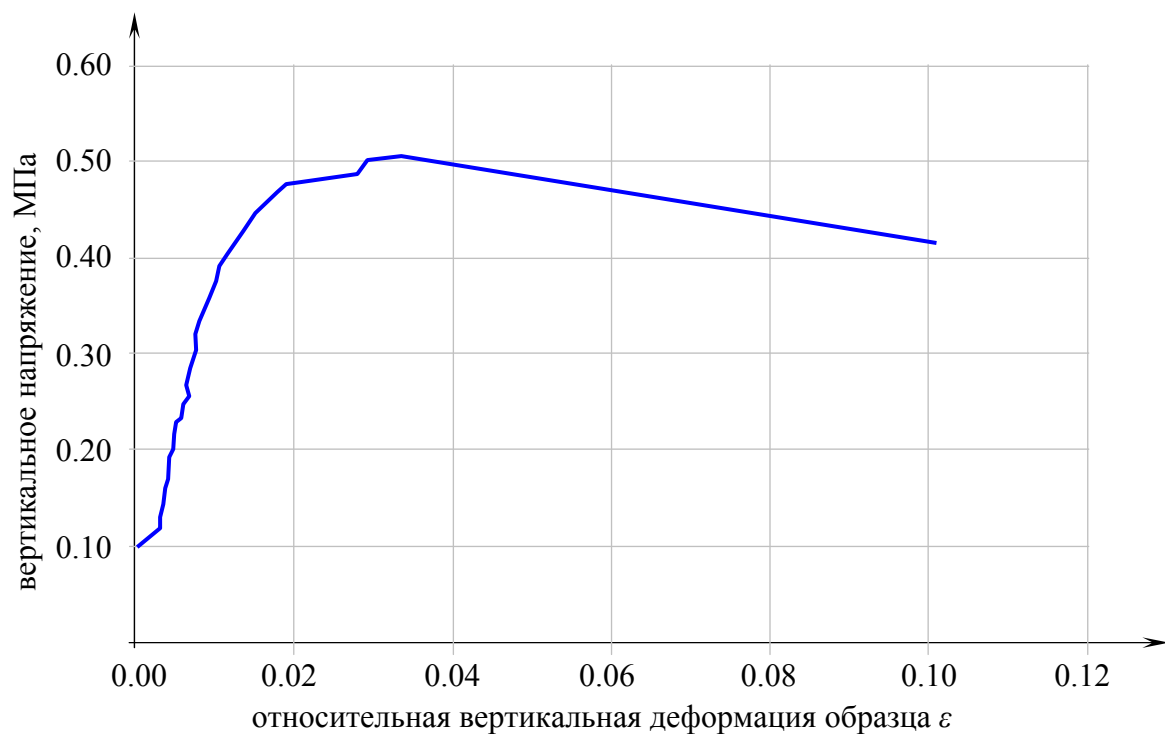


Рис. 29. График зависимости относительной вертикальной деформации от вертикального напряжения

ЛИТЕРАТУРА

1. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса [Текст]: монография/ Г.Г. Болдырев. – Пенза: ПГУАС, 2008. – 696 с.
2. ГОСТ 12248-96*. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – 56 с.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): Учебник для строит. Вузов – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. Шк., 1983. – 288 с., ил.
4. Механика грунтов, основания и фундаменты: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов строительных специальностей ДВПИ / сост. К.З. Игнатенко. – Владивосток: ДВПИ, 1985. – 46 с.
5. Журнал лабораторных работ по механике грунтов / сост. К.З. Игнатенко, Т.Н. Пронкина. – Владивосток: Изд-во ОАО «Приморский полиграфический комбинат», 2001. – 12 с.
6. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. Изд 2-е, перераб. и доп. – М: Стройиздат, 1977 – 256 с.
7. Механика грунтов: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов строительных специальностей / сост. К.З. Игнатенко, Т.Н. Пронкина. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2006. – 36 с.

Приложение 1

Лаборатория «Механика грунтов, основания и фундаменты» (ЛамГОФ)	ДВГТУ Кафедра теории сооружений
---	---------------------------------

ЖУРНАЛ

испытаний грунта методом компрессионного сжатия по ГОСТ 12248-96

(пример для песчаного грунта)

Объект (пункт) -	NNN
Сооружение -	NNN
Шурф (скважина) №	Скв. % N
Глубина отбора образца, м -	
Лабораторный номер образца -	1-1-Уч л/р
Наименование грунта -	Песчаный
Сложение грунта -	Средней плотности

Данные об образце грунта:	
Высота, мм -	25,00
Диаметр, мм -	87,00
Площадь, см ² -	59,45
Объем, см ³ -	148,62
Масса образца, г -	

Вид испытания	
Прибор (тип, номер) № -	КП-1
Схема испытания -	Компрессионное сжатие до 0.5 МПа при естественной влажности
Схема фильтрации -	
Сведения о замачивании -	Без замачивания
Жидкость для замачивания (фильтрации) -	
Дата испытаний:	начало – 11/03/2008 15:40:00
	окончание – 11/03/2008 19:25:55

Физические характеристики грунта:	
Природная влажность, доли единицы -	0,00
Плотность грунта, г/см ³ -	1,60
Плотность частиц грунта, г/см ³ -	2,70
Коэффициент пористости, доли единицы -	0,69
Плотность сухого грунта, г/см ³ -	1,60
Степень влажности, доли единицы -	0,00
Показатель текучести, % -	-
Модуль деформации, Е МПа -	23,73
Коэффициент Пуассона -	0,32

Описание грунта

Образец № 1-1-Уч л/р (пример)

Время	Нормальное давление P , МПа	Абсолютная деформация d , мм	Относительная вертикальная деформация образца, ε	Модуль деформации E , МПа	Коэффициент сжимаемости, m_o	Коэффициент пористости, e	Вид нагружения
Дата							
Время	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,688	л/р № 3
Дата							
Время	0,052	0,259	0,010	3,48	0,339	0,670	
Дата							
Время	0,096	0,316	0,013	13,47	0,088	0,666	
Дата							
Время	0,197	0,391	0,016	23,73	0,050	0,661	
Дата							
Время	0,301	0,433	0,017	42,85	0,028	0,658	
Дата							
Время	0,396	0,482	0,019	34,04	0,035	0,655	
Дата							
Время	0,497	0,513	0,021	57,47	0,021	0,653	
Испытания провел инж.						Иванова В.Г.	

Приложение 2

Лаборатория «Механика грунтов, основания и фундаменты» (ЛамГОФ)	ДВГТУ	Кафедра теории сооружений
---	-------	---------------------------

ЖУРНАЛ

испытания грунта методом одноплоскостного среза по ГОСТ 12248-96
(пример для песчаного грунта)

Объект (пункт) -	NNN	Данные об образце грунта:		Описание грунта
Сооружение -	NNN			
Шурф (скважина) №	Скв. № N			
Глубина отбора образца, м -	N м			
Лабораторный номер образца -	1-2 -Уч л/р			
Наименование грунта -	Песок			
Сложение грунта -	Плотный			
		Высота, мм -	35,00	
		Диаметр, мм -	71,50	
		Площадь, см ² -	40,15	
		Объем, см ³ -	140,53	
		Масса образца, г -		

Вид испытания	
Прибор (тип, номер) № -	СП-1
Схема испытания -	Сдвиг неконсолидированно-недренированный
Схема фильтрации -	
Сведения о замачивании -	Без замачивания
Жидкость для замачивания (фильтрации) -	
Дата испытаний:	начало - 12/03/2008 11:50:00
	окончание - 12/03/2008 11:55:50

Физические характеристики грунта:		Прочностные характеристики грунта	
Природная влажность, доли единицы -	0,05	Угол внутреннего трения, град -	39
Плотность грунта, г/см ³ -	1,45	Удельное сцепление, МПа -	0,00
Показатель текучести, доли единицы -	-		

Образец № 1

Время	Нормальное напряжение σ , МПа	Касательное напряжение τ , МПа	Абсолютная деформация Δl , мм	Относительная деформация сдвига ε	Примечание
Дата, Время	0,000	0,000	0,000	0,000	
Дата, Время	0,100	0,000	0,000	0,000	
Дата, Время	0,100	0,004	0,053	0,001	
Дата, Время	0,100	0,010	0,132	0,002	
Дата, Время	0,099	0,016	0,184	0,003	
Дата, Время	0,099	0,020	0,260	0,004	
Дата, Время	0,099	0,025	0,345	0,005	
Дата, Время	0,099	0,030	0,454	0,006	
Дата, Время	0,098	0,035	0,581	0,008	
Дата, Время	0,098	0,041	0,991	0,014	
Дата, Время	0,098	0,045	1,321	0,018	
Дата, Время	0,098	0,050	1,409	0,020	
Дата, Время	0,098	0,054	1,548	0,022	
Дата, Время	0,098	0,060	1,796	0,025	
Дата, Время	0,098	0,064	1,887	0,026	
Дата, Время	0,098	0,070	2,025	0,028	
Дата, Время	0,098	0,075	2,307	0,032	
Дата, Время	0,098	0,080	2,618	0,037	Срез
Дата, Время	0,098	0,066	6,917	0,097	

Испытания провел инж.

Иванова В.Г.

Приложение 3

Лаборатория «Механика грунтов, основания и фундаменты» (ЛамГОФ)	ДВГТУ Кафедра теории сооружений
---	---------------------------------

ЖУРНАЛ

испытаний грунта методом трёхосного сжатия по ГОСТ 12248-96
(пример для песчаного грунта)

Объект (пункт) -	
Сооружение -	Уч л/р
Шурф (скважина) №	Новая скважина
Глубина отбора образца, м -	-
Лабораторный номер образца -	Уч л/р
Наименование грунта -	Песок
Сложение грунта -	-

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

Вид испытания	
Прибор (тип, номер) № -	СТБ-1 6 датчиков сила
Схема испытания -	Трёхосное сжатие
Схема фильтрации -	Неконсолидированно-недренированная
Сведения о замачивании -	
Жидкость для замачивания (фильтрации) -	
Дата испытаний:	начало - 11/03/2008 13:50:04
	окончание - 11/03/2008 14:03:05

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

Прочностные характеристики грунта	
Угол внутреннего трения, град -	42
Силы сцепления, МПа -	0,00

Описание грунта

Образец № Уч л/р	
Испытания провёл инж. Иванова В.Г.	

Порядок загрузки одометра

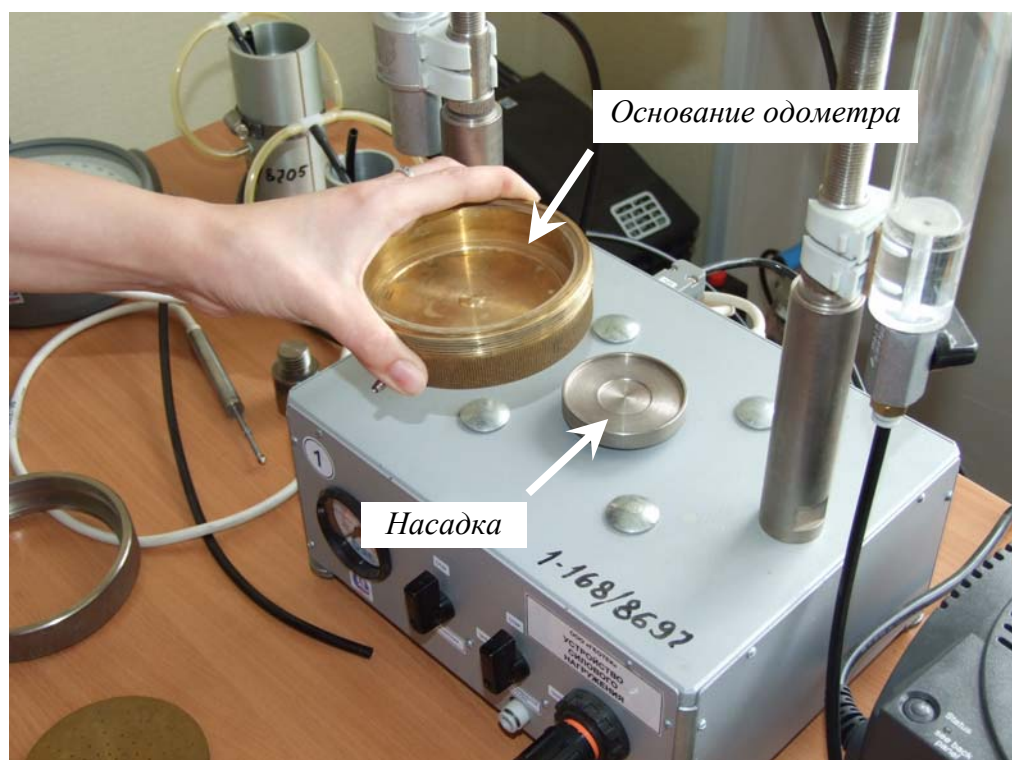


Рис. 1. На устройство силового нагружения устанавливается насадка и основание одометра



Рис. 2. В одометр вкладывается перфорированный диск и бумажный фильтр

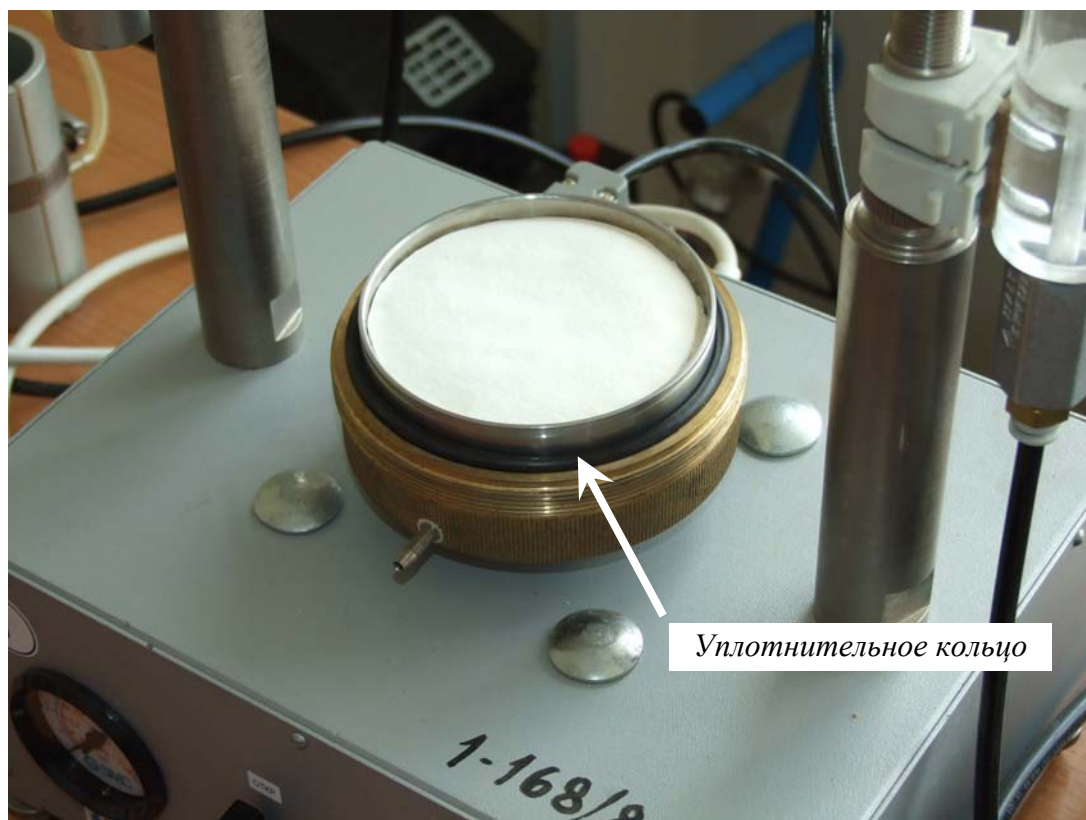
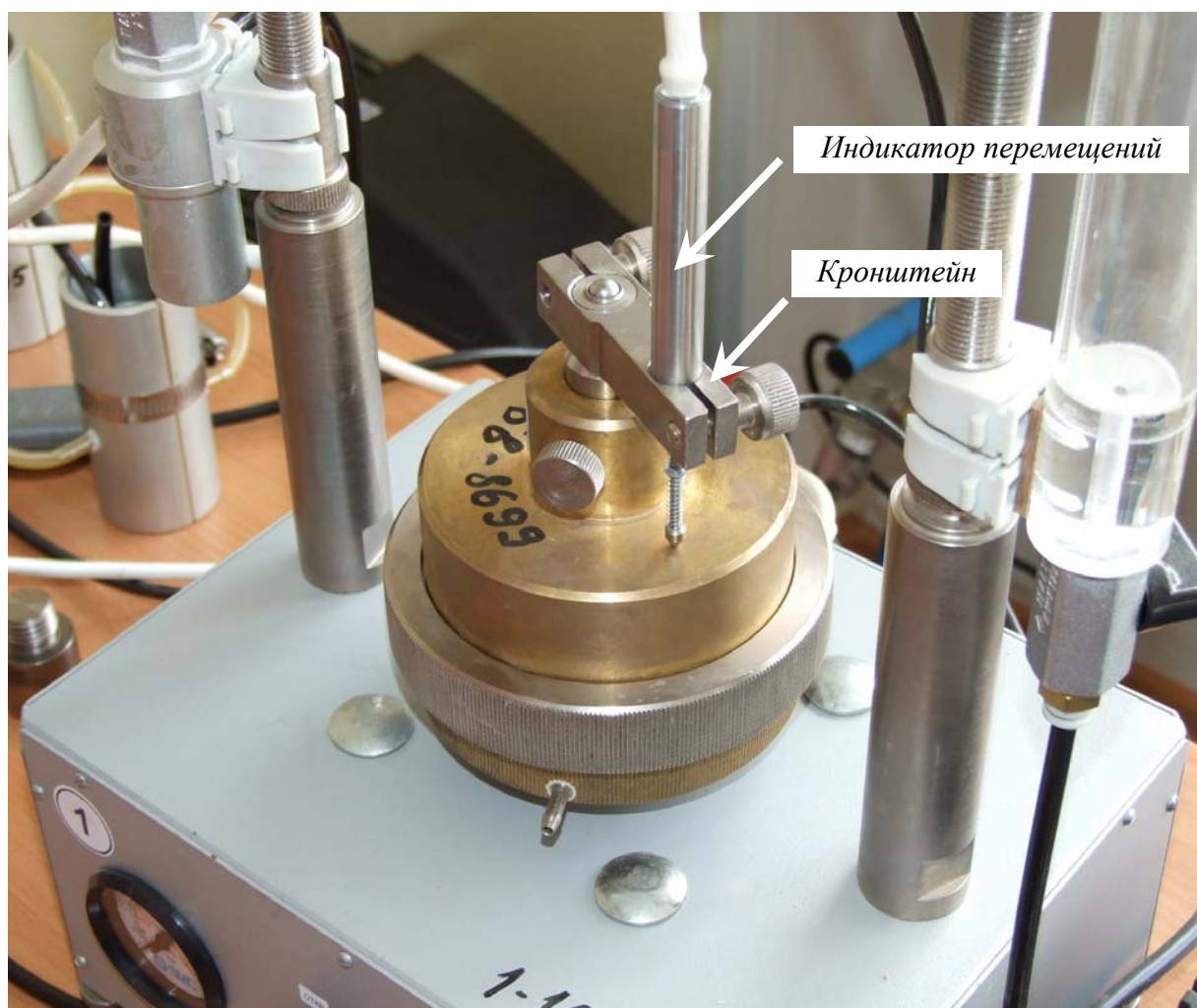


Рис. 3. Устанавливается кольцо с образцом грунта ($\text{Ø}87 \text{ мм}$, $h=25 \text{ мм}$), бумажный фильтр (сверху образца) и уплотнительное кольцо



Рис. 4. Устанавливается верхняя часть одометра (направляющая) с поршнем для передачи вертикальной нагрузки



*Рис. 5. Верхний и нижний цилиндры камеры одометра скрепляются прижимным навинчиваемым кольцом (гайкой).
На кронштейн крепится индикатор вертикальных перемещений*

Порядок загрузки прибора одноплоскостного среза



Рис. 1. Закрепляется датчик вертикального давления

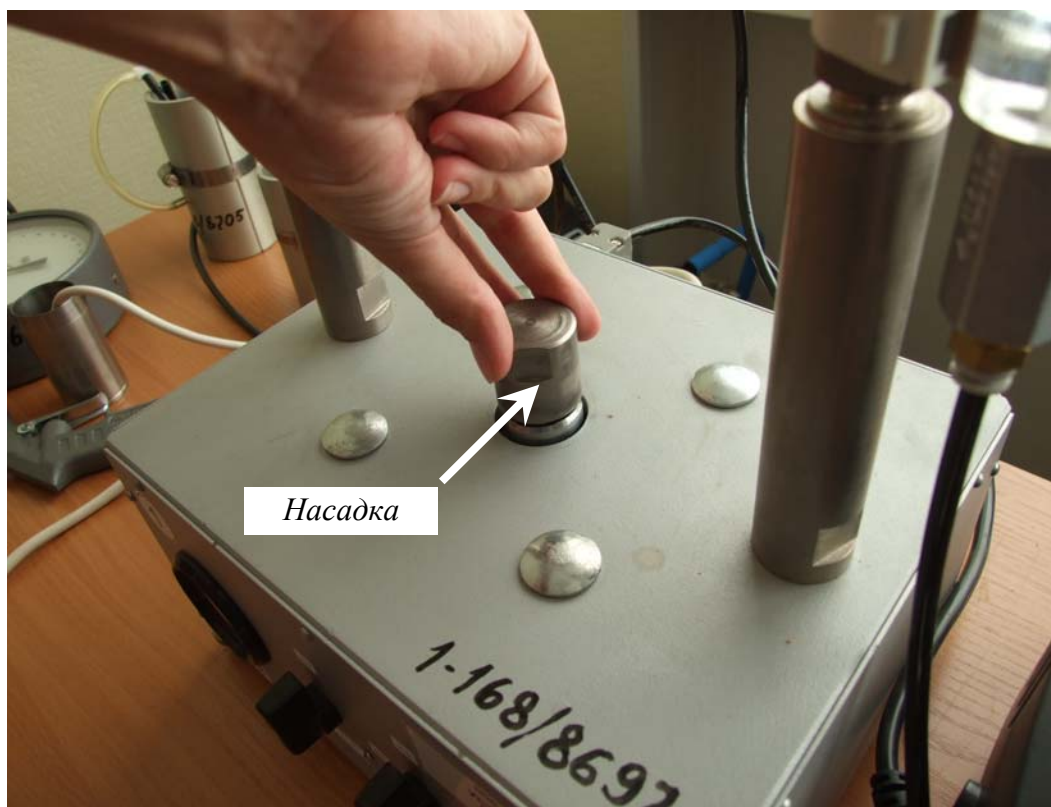


Рис. 2. Устанавливается насадка на устройство силового нагружения

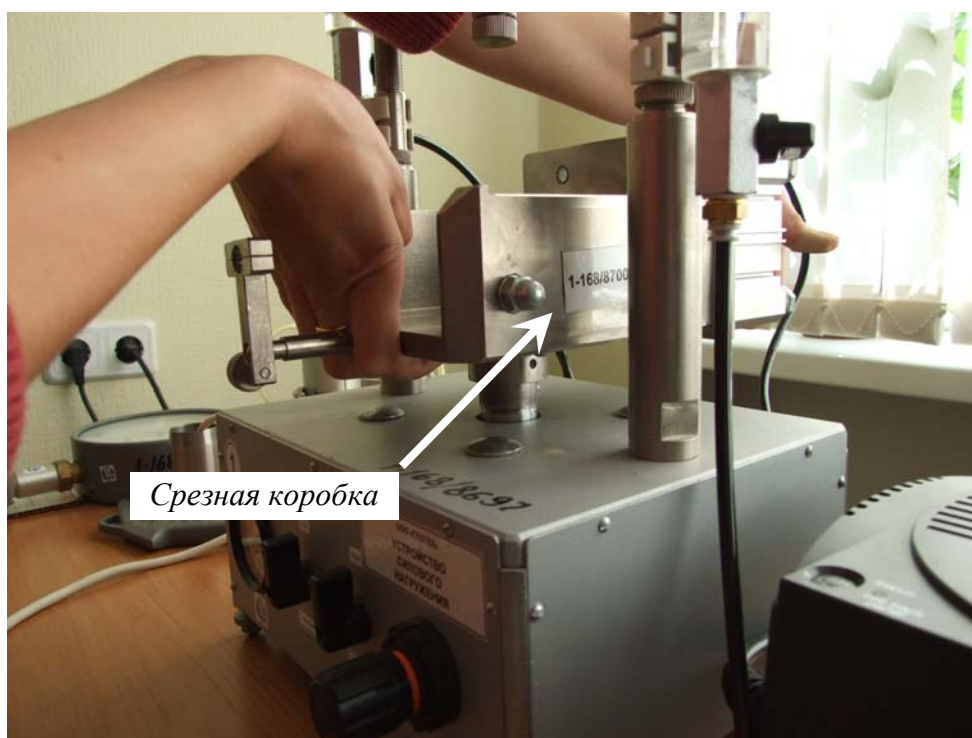


Рис. 3. Устанавливается срезная коробка



Рис. 3а. Установлена срезная коробка

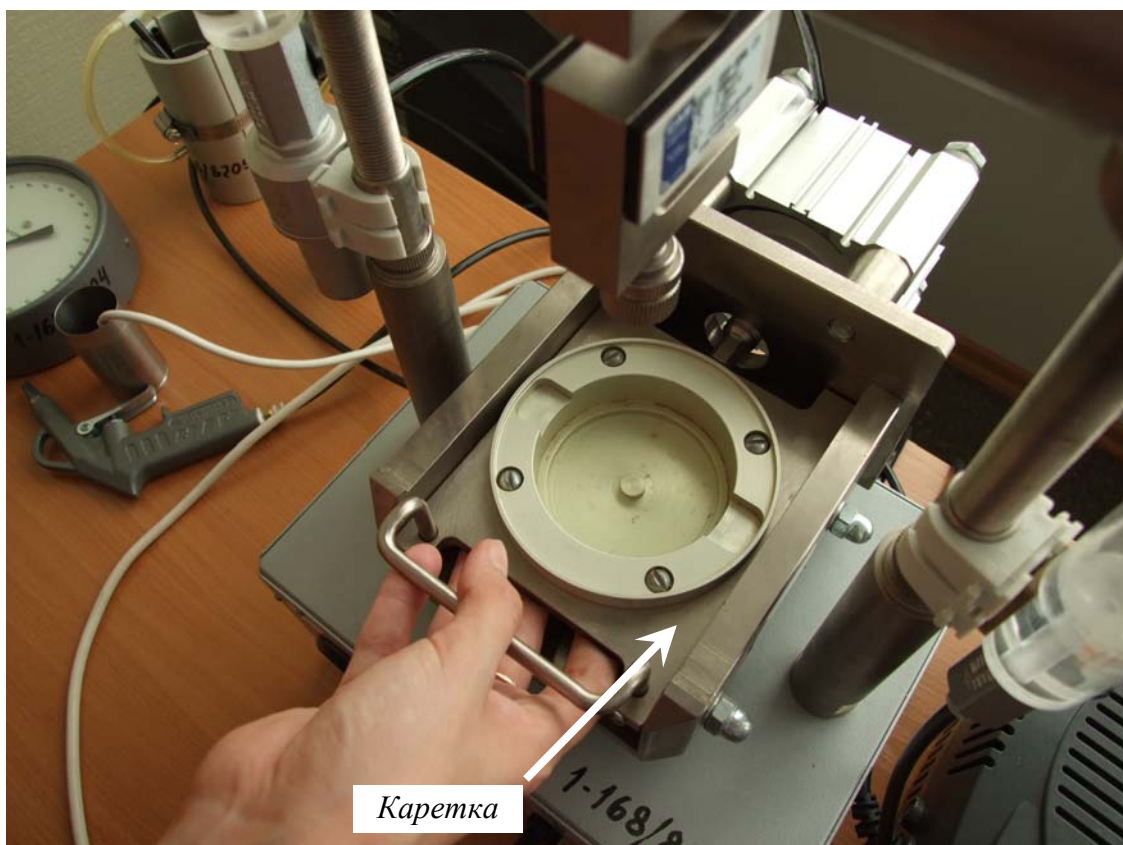


Рис. 4. Устанавливается подвижная каретка

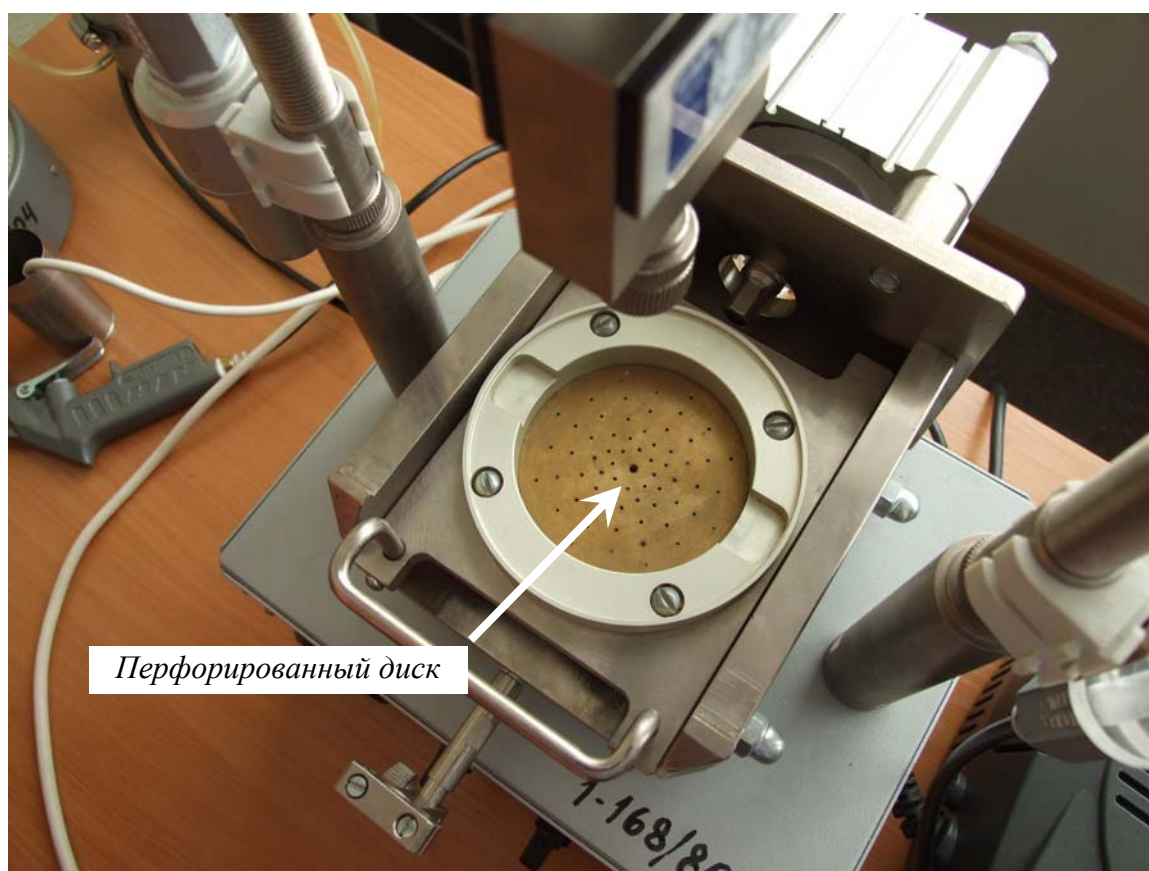


Рис. 5. Закладывается перфорированный диск

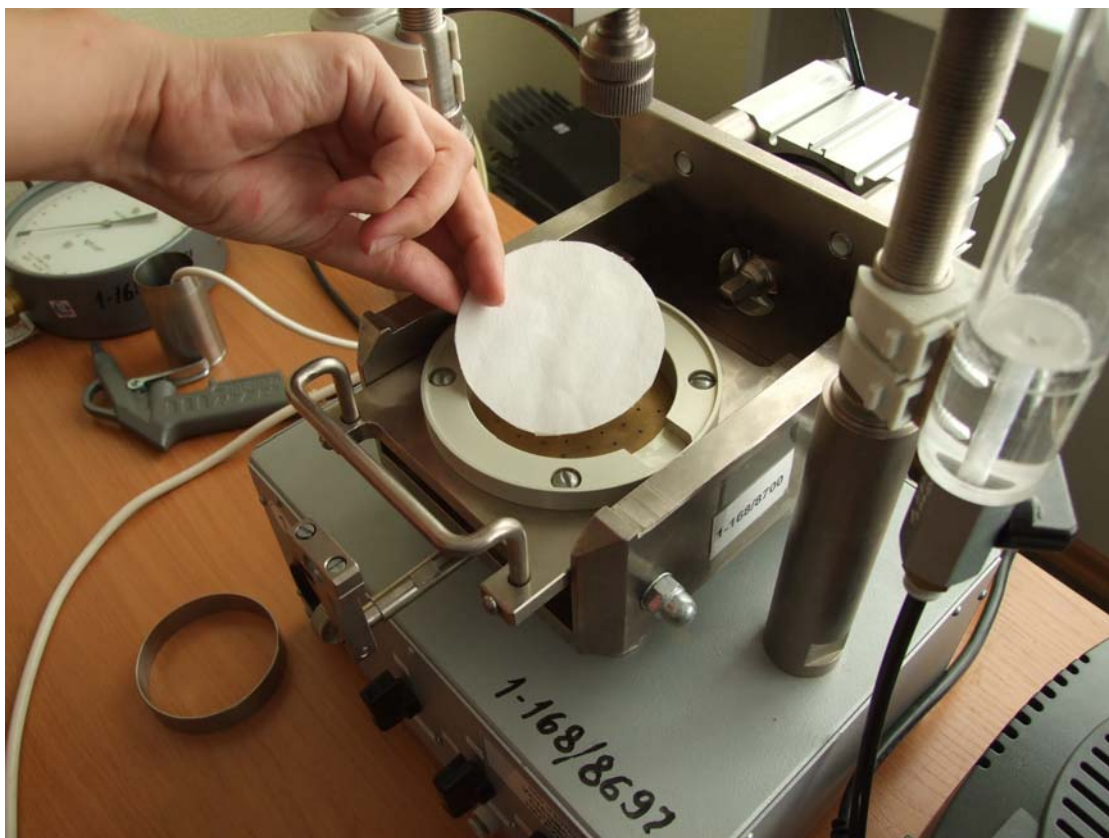


Рис. 6. Закладывается бумажный фильтр



Рис. 7. Каретка задвигается в начальное положение



Рис. 8. Устанавливается неподвижная часть срезной коробки

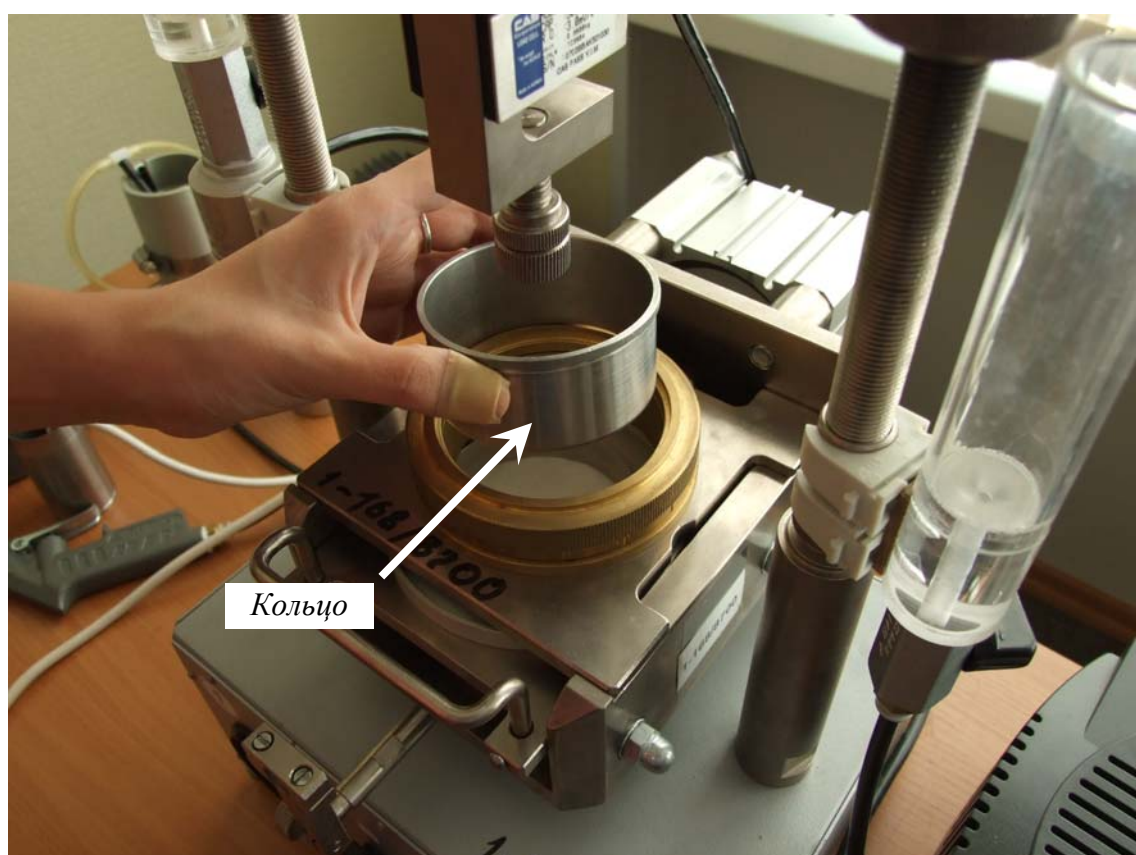


Рис. 9. Вставляется кольцо (в случае, если грунт глинистый, следует предварительно вырезать образец с помощью кольца) и далее выдавить его штампом (вкладышем), переместив образец в нижнюю часть прибора



Рис. 10. Засыпается грунт (послойно)



Рис. 11. Уплотняется грунт (послойно, до достижения заданной плотности)

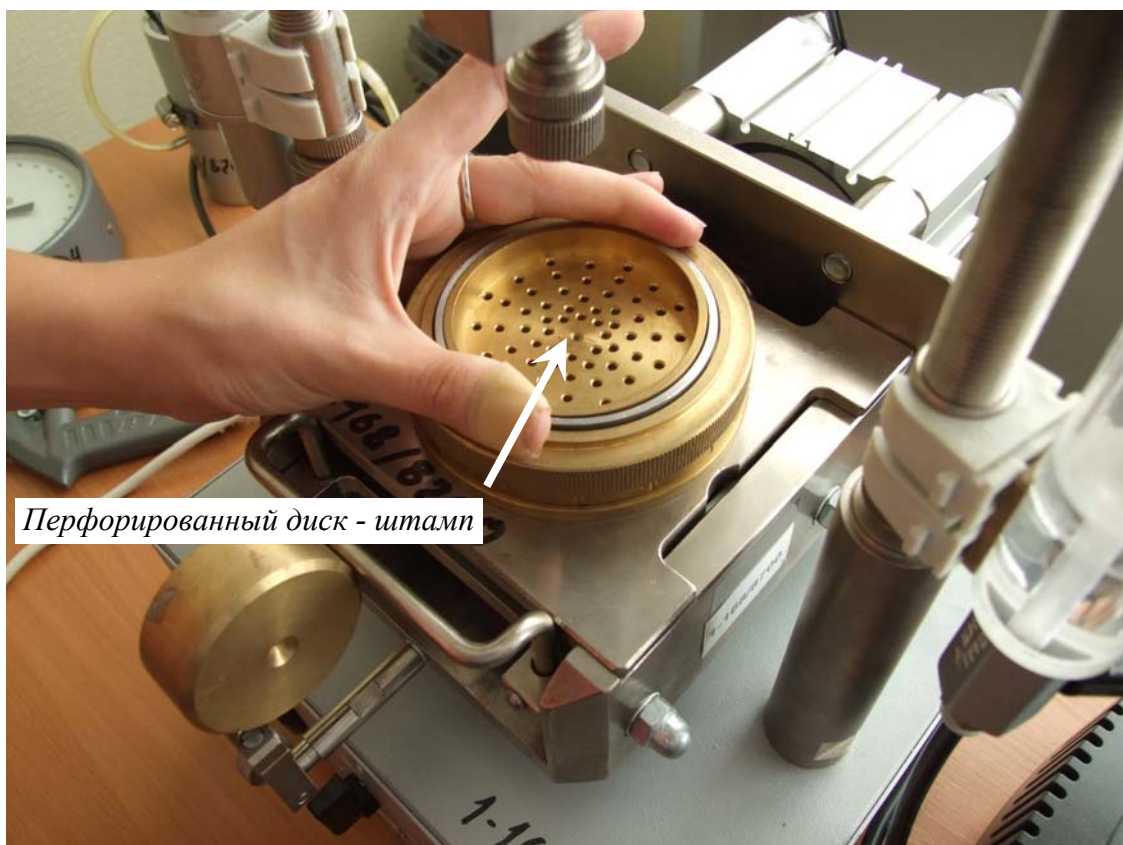


Рис. 12. Устанавливается бумажный фильтр и устанавливается верхний перфорированный штамп

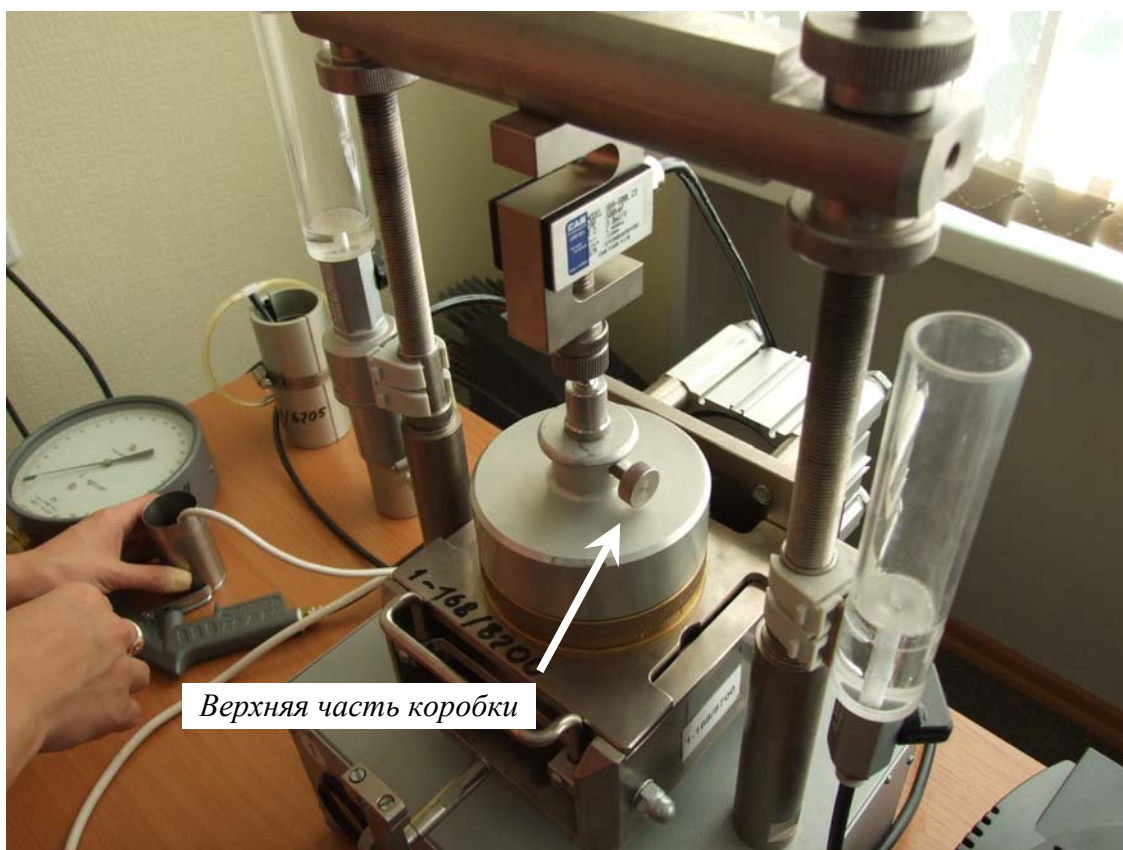


Рис. 13. Устанавливается верхняя часть срезной коробки

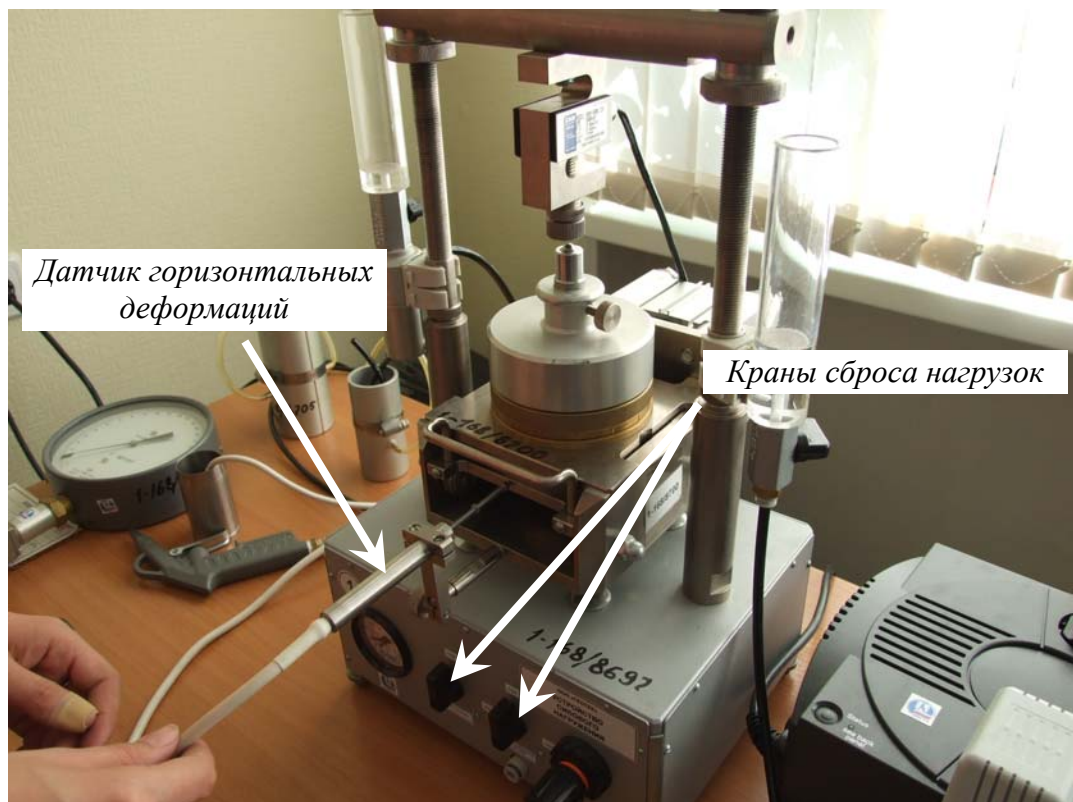


Рис. 14. Устанавливается датчик деформаций среза, закрываются краны сброса нагрузок

Порядок загрузки прибора трёхосного сжатия



Рис. 1. Необходимо отрегулировать перекладину по высоте камеры стабилметра и установить насадку на устройство силового нагружения



Рис. 2. На верхнюю и нижнюю части камеры трёхосного сжатия устанавливается перфорированный штамп

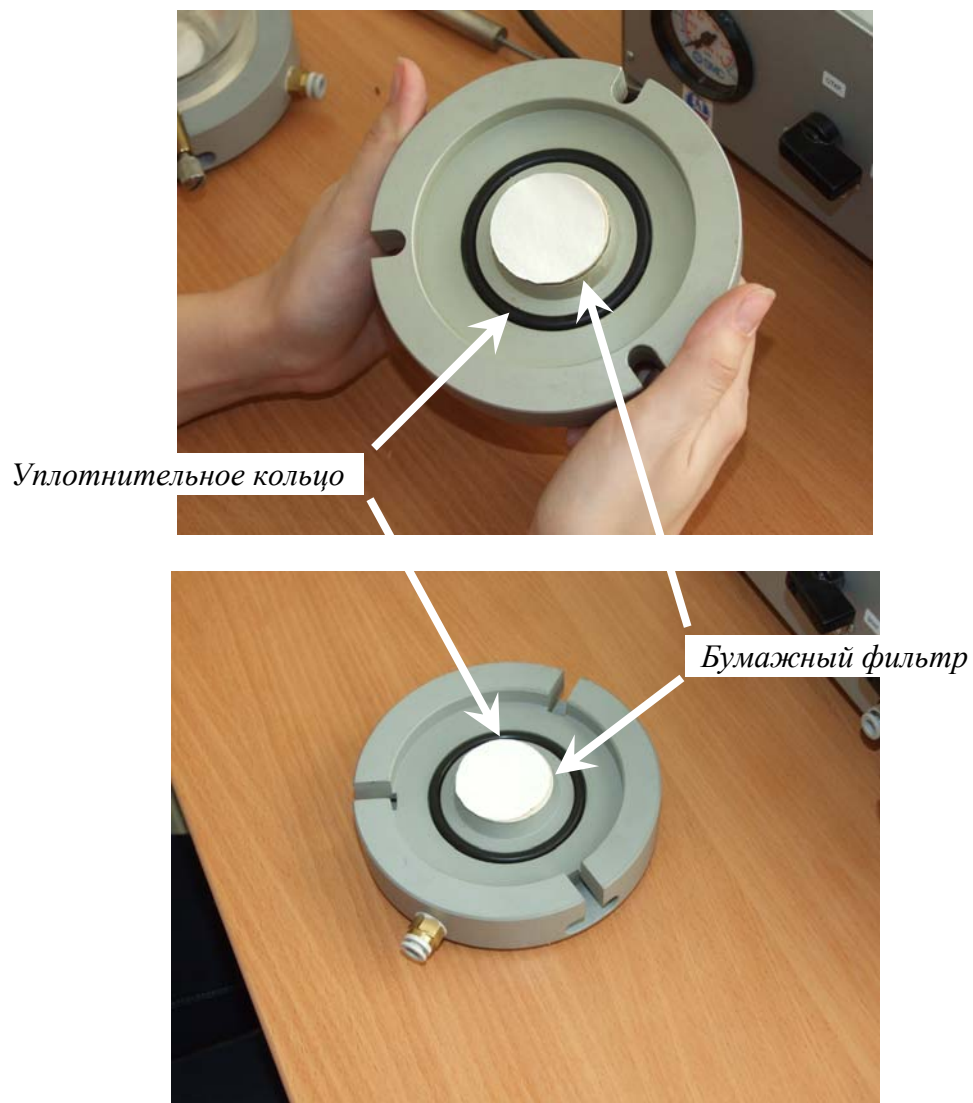


Рис. 3. Вкладывается уплотнительное кольцо и бумажный фильтр

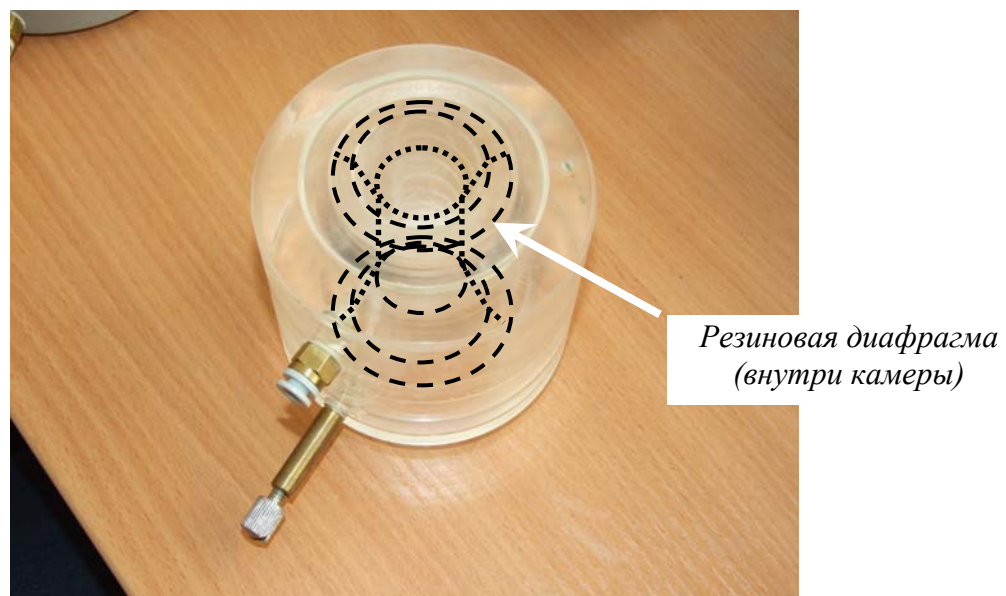


Рис. 4. На камере трёхосного сжатия следует закрепить оболочку (резиновую диафрагму).

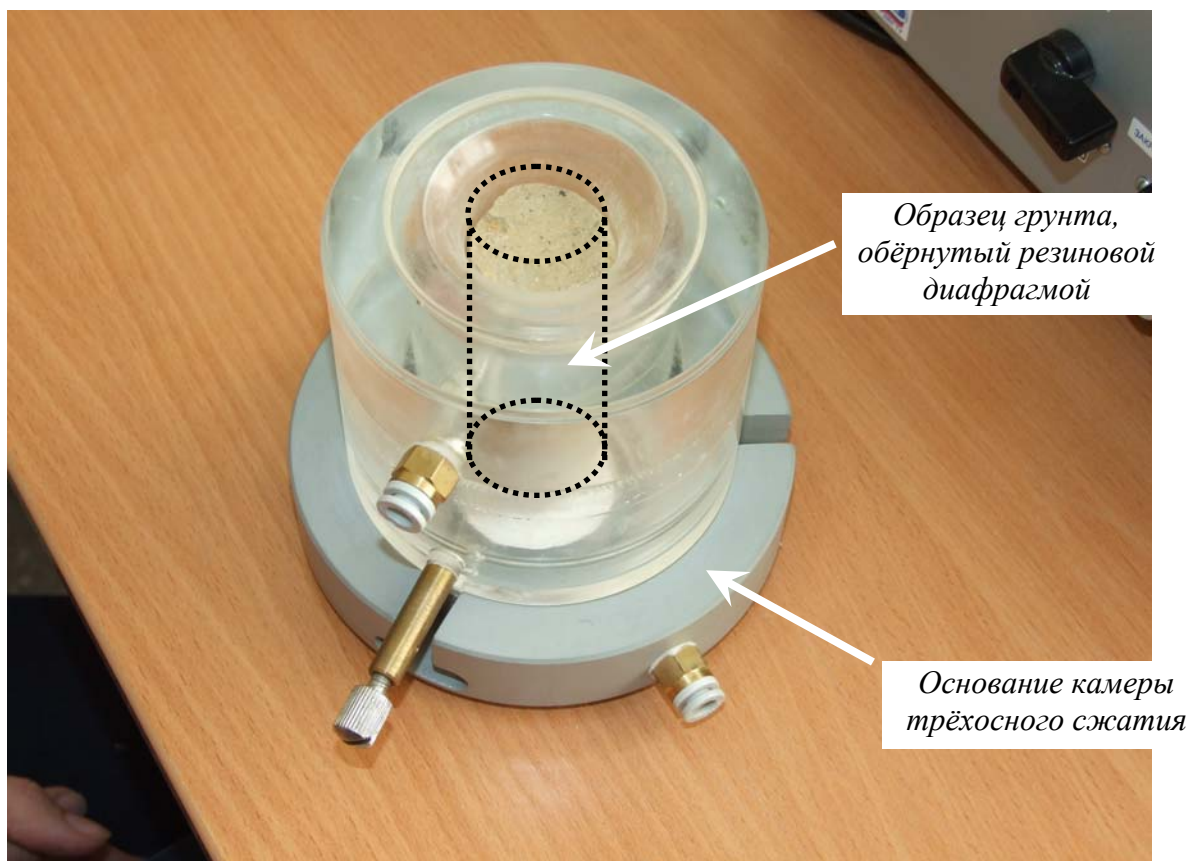


Рис 5. Камеру трёхосного сжатия установить на основание и поместить в неё грунт



Рис 6. Установить верхнюю часть камеры трёхосного сжатия и закрепить её откидными винтами

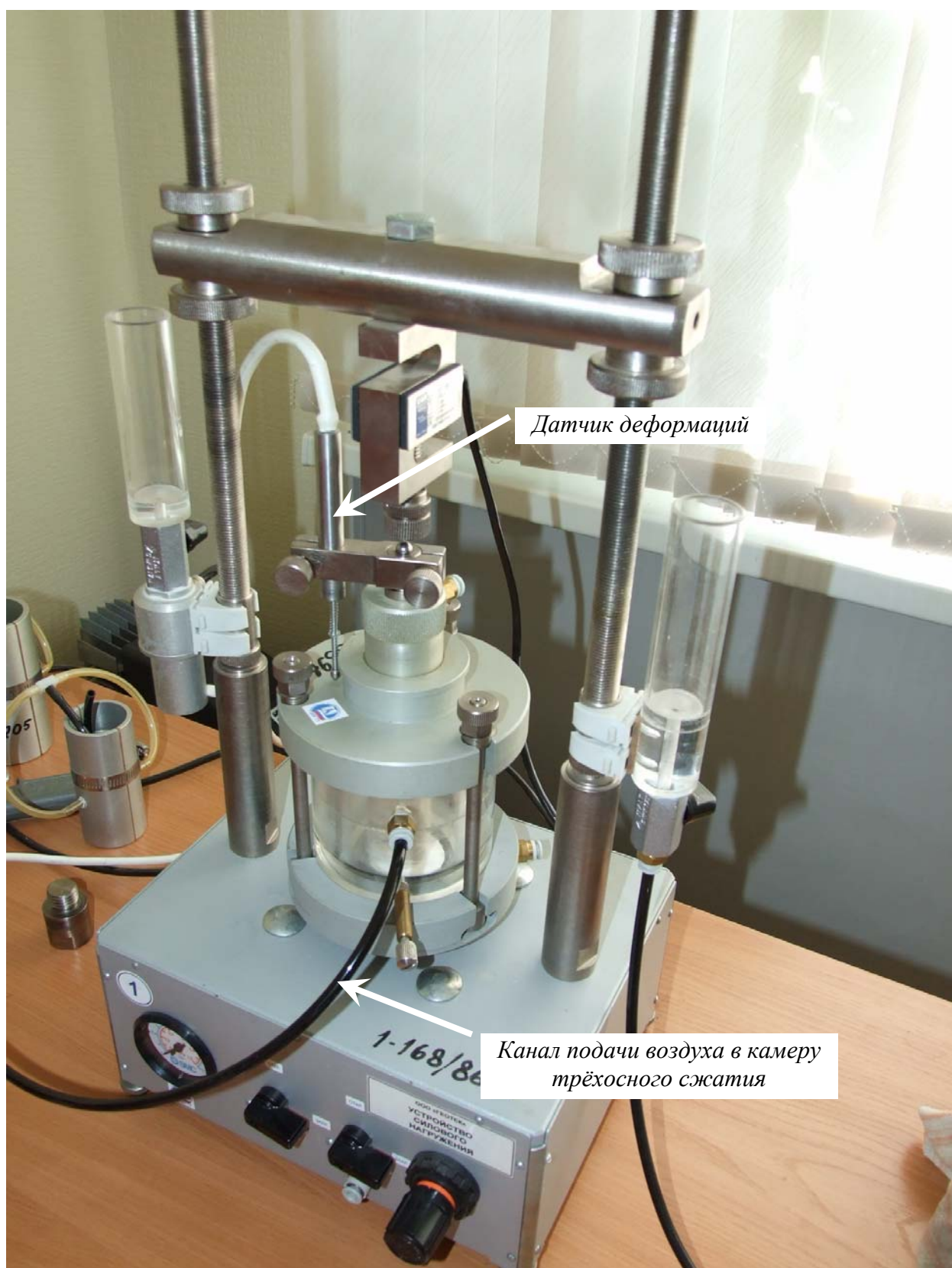


Рис 7. Камеру трёхосного сжатия установить на устройство силового нагружения, отрегулировать перекладину, установить датчик деформаций, к компрессору подключить камеру и устройству нагружения