

В.А. Козионов

МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ

Учебное пособие

Павлодар

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Павлодарский государственный университет
им. С. Торайгырова

В.А. Козионов

МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ

Учебное пособие
для студентов строительных специальностей

Павлодар

УДК 624.131.37(075.8)
ББК 38.58я73

**Рекомендовано учебно-методической секцией по
специальностям строительства и архитектуры
Министерства образования и науки республики Казахстан**

Рецензенты:

Алдунгаров М.М. – канд. техн. наук, профессор Каз. ГАСА
Оспанов С.О. – канд. техн. наук, профессор Каз. ГАСА
Кудерин М.К. – канд. техн. наук, профессор ПГУ
им. С. Торайгырова

Козионов В.А.
Методы лабораторных испытаний грунтов: учебное пособие.
– Павлодар: 2006. – 109 с.

В учебном пособии изложены методы лабораторного определения физико-механических характеристик грунтов, используемых для целей строительства. Содержание пособия включает в себя общие сведения и теоретические обоснования изучаемых методов испытаний грунтов, описание конструкций испытательных установок и приборов, рекомендуемый порядок выполнения исследований и обработки их результатов, в том числе с применением ПЭВМ, а также тесты для самоконтроля знаний.

Учебное пособие рекомендуется для студентов специальности "Строительство".

УДК 624.131.37(075.8)
ББК 38.58я73

© Козионов В.А., 2006
© Павлодарский государственный
университет им. С. Торайгырова, 2006

Введение

Учебное пособие по испытаниям грунтов написано в соответствии с программой сравнительно нового комплексного курса по Геотехнике и предназначено как дополнение к учебнику при подготовке и проведении лабораторных работ студентами строительных специальностей высших учебных заведений.

Основная цель учебного пособия – помочь студентам овладеть основными методами определения физико-механических характеристик грунтов, необходимых для проектирования оснований и фундаментов. Выполнение и защита лабораторных работ должны способствовать углублению знаний студентами материала учебного курса.

В пособии приведены современные методы и средства проведения инженерных экспериментов по исследованию грунтов, рассмотрены вопросы методики обработки результатов испытаний грунтов, в том числе с использованием ПЭВМ. Характерной особенностью излагаемого учебного материала является ориентированность его на современные республиканские и межгосударственные стандарты по испытанию грунтов. Приводятся также сведения о международных стандартах на испытания грунтов.

Основное содержание пособия разделено на два модуля:

- а) определение физических характеристик грунтов;
- б) определение механических характеристик грунтов.

Каждый модуль содержит ряд близких по содержанию работ, заданий и контрольных вопросов. Программный материал модулей прорабатывается студентами в процессе выполнения лабораторных работ и самостоятельно (изучение материала темы по базовому учебнику, решение задач, подготовка ответов на контрольные вопросы).

После изучения модуля студенты выполняют тестовое задание, результат которого учитывается в итогах рубежного и текущего контроля, а также в оценке по всему учебному курсу.

Для лучшего усвоения студентами учебного материала в каждом модуле содержатся общие и теоретические сведения по теме исследования, контрольные вопросы, примеры обработки результатов испытаний и тесты с ответами для самоконтроля знаний. Методика и порядок выполнения лабораторных испытаний грунтов даны в пособии с расчетом на значительное повышение самостоятельной работы студентов, а также на возможность их обучения по индивидуальным учебным планам, что составляет основу современных нелинейных систем обучения.

1 Основы методик лабораторных испытаний грунтов

1.1 Общие положения

Одной из основных целей лабораторных испытаний грунтов является определение показателей их физико-механических свойств, необходимых для проектирования оснований и фундаментов. При проведении испытаний необходимо учитывать условия естественного залегания грунтов, их структурно-текстурные особенности, состояние и возможность его изменения в период эксплуатации зданий и сооружений. Большое значение имеют также вопросы учета особенностей напряженно-деформированного состояния, распределения напряжений между фазами, скорости и траектории нагружения грунтов в основании фундаментов. Ряд грунтов при некоторых добавочных физических или механических воздействиях обладает способностью к резкому нарушению структуры, что приводит к значительному повышению сжимаемости и снижению их прочности.

Основным документом, задающим условия и нормы точности, воспроизводимости результатов испытания, является методика его проведения.

Методика испытания, по определению, устанавливает правила применения метода испытания грунта, необходимые средства испытания, заданные условия испытания, алгоритм выполнения операции по определению характеристик грунта, формы представления данных и оценки точности и достоверности результатов испытания, требования техники безопасности и охраны окружающей среды. Обычно, методика испытаний определяется соответствующим стандартом.

Основные элементы методики испытания грунтов включают:

- нормы точности, воспроизводимости результатов испытания и достоверности контроля при испытании;
- способы отбора проб и подготовки образцов грунта для испытаний;
- способы обработки данных испытания и формы представления результатов испытания;
- диапазоны и точность воспроизведения условий испытания;
- диапазоны и точность характеристик средств испытания, средств измерений и испытательного оборудования;
- применение аттестованного испытательного оборудования и поверенных средств измерения.

Соблюдение перечисленных требований обеспечивает получение результатов испытаний с погрешностью, не превышающей заданной величины.

1.2 Обеспечение представительности образцов грунта

Понятие о представительности образцов грунта. Для проведения испытаний производится отбор проб грунта из определенных программой изысканий точек основания. Проба грунта, отобранная из шурфа или дна котлована, называется монолитом, а отобранная из скважины – керном. Часть монолита или керна, подготовленная для лабораторного испытания, называется образцом.

При определении показателей механических свойств оснований сооружений под образцом грунта понимается некоторый его объем, в котором статистически осредненный эффект взаимодействия между собой минеральных частиц, с достаточной для инженерных целей точностью, можно принять не зависящим от их количества. Это достигается, как показывают эксперименты, при превышении минимального размера образца максимальных размеров фракций грунта (включений, агрегатов) не менее чем в пять раз. Необходимо также, чтобы физическое состояние образца грунта соответствовало условиям его естественного залегания. При соблюдении указанных требований образец грунта считается представительным, т.е. характеризующим свойства всего или выделенной части массива.

Ниже излагаются основные требования, предъявляемые к технологии подготовки образцов в соответствии с рекомендациями ГОСТ 30416-96 [1].

Подготовка образцов дисперсного грунта, не нарушенного сложения. Изготовление таких образцов осуществляется методом режущего кольца (цилиндрическая форма с режущим краем, рабочее кольцо прибора для испытаний).

Для отбора образцов монолит грунта помещается на площадку винтового пресса или на лабораторный стол. Ориентировка образца в кольце прибора должна соответствовать ориентировке грунта в условиях естественного залегания. Поэтому монолит на площадке винтового пресса или на лабораторном столе ориентируется так, чтобы его верхняя часть была обращена вниз.

На защищенную поверхность монолита ставится режущее кольцо, предварительно смазанное изнутри тонким слоем вазелина или консистентной смазки. Врезание кольца в грунт производится очень аккуратно. Грунт с наружной стороны кольца осторожно подрезается ножом на глубину 5...10 мм ниже режущего края кольца. В результате формируется столбик грунта диаметром на 1...2 мм

больше наружного диаметра кольца. Далее кольцо постепенно без перекосов, надвигается на образец – цилиндр грунта до полного заполнения его объема. Верхняя грань образца зачищается вровень с краем кольца и закрывается пластинкой. Образец – столбик грунта подрезается ножом снизу на глубине 10 мм от режущего края кольца и отделяется от монолита. Режущее кольцо переворачивается, зачищается второй торец образца и также покрывается пластинкой. При вырезке образца сыпучего или пластичного грунта кольцо вдавливаются в грунт и отделяется от монолита плоской лопаткой.

Подготовка образцов полускального грунта. Образцы полускального грунта изготавливаются в форме цилиндров или прямоугольных параллелепипедов. Для изготовления образцов необходимо следующее оборудование: токарный станок с высотой центров не менее 200 мм; сверлильный станок с набором коронарных сверл; шлифовальный станок; машина камнерезная; дисковая пила, а также измерительные инструменты.

При подготовке образцов к испытаниям в воздушно-сухом состоянии их предварительно высушивают на воздухе до тех пор, пока разница в его массе не будет превышать $(0,5 \pm 0,1)$ г в сутки.

Для испытаний образцов в водонасыщенном состоянии их предварительно увлажняют в сосуде с дистиллированной водой до состояния, когда приращение массы образца в сутки будет менее 1...2 г.

Подготовка образцов грунта с заданными значениями влажности и плотности. Для подготовки образцов грунта нарушенной структуры первоначально производится отбор пробы требуемого объема. Затем проба просушивается, размельчается пестиком с резиновым наконечником, просеивается через сито с отверстиями 2 мм и определяется влажность грунта.

Для получения грунта заданной влажности в пробу добавляется количество воды Q_p , см³, определяемое по формуле [1, с. 9]

$$Q_p = \frac{m_r(W_3 - W)}{\rho_w(1+W)}, \quad (1.1)$$

где W_3 и W - соответственно заданная и исходная влажности грунта;

m_r - масса исследуемого грунта при влажности W , г;

ρ_w - плотность воды, равная 1 г/см³.

После добавления воды грунт тщательно перемешивается и помещается в эксикатор не менее чем на два часа.

Уплотнение подготовленного грунта до заданной плотности производится непосредственно в рабочих кольцах прибора, объемом V_k . До уплотнения необходимо определить массу грунта, которая обеспечит его заданную плотность ρ_{d3} по формуле [1, с. 9]

$$m_r = V_k \cdot \rho_{d3} / (1 + W_3) . \quad (1.2)$$

Процесс уплотнения грунта осуществляется одним из следующих нормированных методов: послойным трамбованием; обжатием под прессом; в приборе стандартного уплотнения падающим грузом.

1.3 Учет условий нагружения и деформирования грунтов

При обосновании методики исследования грунтов необходимо учитывать реальные условия их работы в основаниях зданий и сооружений. Это достигается путем выбора соответствующих схем и режимов испытаний грунтов.

Под схемой испытания понимается совокупность краевых условий нагружения образцов грунта (одноосное сжатие, компрессия, простой сдвиг, трехосное нагружение и т.п.). При проведении испытаний важно обеспечить условие подобия напряженных состояний в образце и рассматриваемой точке грунтового основания. Подробный анализ существующих схем испытаний грунтов и областей их применения изложен в 3.1.

Большое влияние на показатели физико-механических свойств грунтов оказывает также режим испытаний, в особенности, характер нагружения:

- а) тип нагрузки (статический, динамический);
- б) величина и скорость приложения нагрузок (по ступеням, непрерывно с заданной скоростью деформирования или нагружения);
- в) последовательность приложения нагрузок (траектория нагружения).

При проведении испытаний важно учитывать также особенности реализации в основании различных физических процессов:

- а) условия оттока воды при уплотнении грунтов и возможность возникновения в основании внутриводяного давления;
- б) увлажнение оснований из различных типов просадочных, набухающих, засоленных, закарстованных грунтов;

в) изменения температуры в мерзлых и вечномёрзлых грунтах.

На условия деформирования грунтов в основаниях зданий и сооружений существенное влияние могут оказать и широко распространённые на территориях городов опасные природно-техногенные процессы: оползни, подтопление, карстообразование и др.

Для исключения возможных ошибок при составлении программы испытаний и методик их проведения необходимо ознакомиться с проектируемым зданием, инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями строительства, а также с предполагаемыми моделями и схемами расчёта деформаций и устойчивости оснований.

1.4 Стандартизация испытаний грунтов

Стандартизация – это деятельность, заключающаяся в нахождении решений для повторяющихся задач в сфере науки, техники и экономики, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области. Стандартизация обеспечивает единство методов и средств испытаний грунтов. В стандартах содержатся также требования к измерительным приборам, инструментам и испытательным установкам. Существующие стандарты на испытания грунтов, например, ГОСТ 30416-96 рекомендует для каждой характеристики грунта, как метод ее определения, так и область применения самого метода. Таким образом, важнейшим методологическим принципом проведения испытаний грунтов является соблюдение требований соответствующих стандартов.

Стандартизация испытаний грунтов широко распространена в мировой практике геотехнических исследований:

- в Казахстане – Комитет по техническому регулированию и метрологии (ГОССТАНДАРТ);
- в странах СНГ – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС), Межгосударственная система стандартизации (МГСС);
- в Великобритании – Британский институт стандартов (BS);
- в Германии – Немецкий институт стандартов (DIN);
- в Российской Федерации – Госстандарт России (ГОСТ Р);
- в США – Американское общество по испытаниям и материалам (ASTM);
- в Турции – Турецкий институт стандартов (TSE);
- во Франции – Французская ассоциация по Стандартизации

(AFNOR);

- в Японии – Японский комитет промышленных стандартов (JIS); Японское геотехническое общество по лабораторным испытаниям (JGS).

Существуют также и международные организации, освещающие достижения исследований в области геотехники: Международное общество по механике грунтов и геотехнике (ISSMGE) и Международное общество по механике скальных пород (ISRM). Большая роль в стандартизации испытаний принадлежит международной организации по стандартизации – ISO. Это орган, содействующий международному обмену товарами и услугами, а также развитию сотрудничества в интеллектуальной, научно-технической и экономической областях.

1.5 Метрологическое обеспечение испытаний грунтов

Большое значение при испытании грунтов уделяется измерениям. Теорией и практикой измерений занимается метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Приведем основные понятия, связанные с проведением измерений, при испытаниях грунтов.

Измерение – это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Измерения характеризуются следующими параметрами:

- точностью измерения – качеством измерений, отражающих близость результатов к истинному значению;
- погрешностью измерения – отклонением результата измерений от истинного значения измеряемой величины;
- достоверностью измерения – вероятностью отклонения измерения от истинного значения;
- диапазоном измерений – областью значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений;
- ценой деления шкалы – разностью значений измеряемой величины, соответствующей двум соседним отметкам шкалы;
- пределом измерений – наибольшим и наименьшим значениями диапазона измерений;
- чувствительностью измерительного прибора – отношением изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызвавшему его изменению измеряемой величины.

Средства измерений – это технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства. Средства измерений делят на меры, измерительные приборы и преобразователи, измерительные установки и системы. Средства измерений выбираются таким образом, чтобы их допускаемая погрешность в заранее установленных условиях применения, т.е. с учетом всех дополнительных погрешностей, не превышала погрешности, установленной стандартом на данный вид испытания.

Ниже приводятся основные требования к испытаниям грунтов в соответствии с ГОСТ 30416-96 [1, с. 5].

Требования к установкам, приборам и испытательному оборудованию. При определении механических свойств грунтов должны использоваться установки и приборы, которые обеспечивают выполнение следующих основных требований:

а) центрированную (соосную) передачу нормальной нагрузки на образец грунта и её вертикальность;

б) приложение касательной нагрузки в строго фиксированной плоскости среза;

в) возможность нагружения образца грунта ступенями или с заданной скоростью нагружения (деформирования);

г) постоянство давления на каждой ступени нагружения.

Другие требования, предъявляемые к установкам, приборам и необходимому оборудованию для исследования грунтов, приводятся в указаниях к выполнению конкретных лабораторных испытаний.

При проведении и обработке результатов испытаний необходимо учитывать поправки к показаниям приборов и функционированию устройств, полученные в результате их тарировок и метрологических проверок, выполняемых в соответствии с требованиями [2].

Точность измерений и вычислений характеристик грунтов.

В соответствии с ГОСТ 30416-96 [1, с. 3] погрешность измерений при испытаниях грунтов не должна превышать:

- 0,02 г – при измерении массы образца;

- 0,1 мм – при измерении размеров образца и рабочего режущего кольца;

- 0,01 мм – при измерении деформации образца;

- 5% - при измерении прикладываемой нагрузки от ступени нагрузки.

Другие дополнительные требования к точности измерений приводятся в описаниях к конкретным лабораторным испытаниям.

При обработке результатов испытаний плотность грунта вычисляется с точностью 0,01 г/см³, влажность до 30% включительно

– 0,1%, влажность 30% и выше – 1%, угол внутреннего трения – 1° , удельное сцепление – 1 кПа, абсолютная вертикальная деформация образца – 0,01 мм, относительная вертикальная и объемная деформации образца – 0,001.

Методы и средства измерений. При проведении испытаний грунтов осуществляются измерения определенного числа параметров, характеризующих процесс нагружения и поведение грунта под нагрузкой. К числу таких параметров относятся: нагрузка на образец; давление в рабочей камере прибора; линейные и объемные деформации образца; внутрипоровое давление в образце; напряжение в образце; влажность; температура и др.

Измерение механических нагрузок. Определение действующих на образец механических нагрузок, в том числе тарировка испытательных установок, осуществляется с помощью динамометров. В практике испытаний наибольшее распространение получили динамометры типа ДОСМ. Непосредственный отсчет берется по индикатору перемещений, установленному на приборе. В зависимости от величины перемещения по тарировочной кривой устанавливается значение усилия. В современных конструкциях испытательных установок усилия на образец определяются также при помощи электромеханических динамометров с тензорезисторами.

Измерение давления в рабочей жидкости приборов. При испытании грунтов в условиях трехосного сжатия возникает необходимость измерения внутреннего давления жидкости в рабочих камерах приборов. Такие измерения осуществляются образцовыми манометрами.

Измерение линейных перемещений образцов. Измерения указанных перемещений осуществляются, как правило, индикаторами часового типа. На практике применяют следующие индикаторы:

- с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения 0 ... 10 мм;
- с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 0 ... 1 мм.

В составе установок для измерения угловых перемещений образцов при испытании их на кручение используются прогибомеры конструкций Максимова и Аистова с точностью 0,01 мм.

В современных конструкциях испытательных установок часто используются электромеханические измерители перемещений. Эти измерители позволяют преобразовать механические перемещения в электрические сигналы. Такие системы сопрягаются с вычислительной техникой, что позволяет обрабатывать полученные сигналы по запланированной программе и одновременно управлять проводимым экспериментом.

Измерения объемных деформаций образцов. При испытании грунтов в приборах трехосного сжатия возникает необходимость определения объемных деформаций образца по результатам изменения объема рабочей жидкости. Такие измерения проводятся с помощью специальных приборов – волюмометров, входящих непосредственно в состав испытательных установок. Погрешность измерений этими приборами не должна превышать 0,03% от начального объема образца.

Измерения внутрипорового давления в образце. При испытании водонасыщенных глинистых грунтов в образце возникает внутрипоровое давление. Для его измерения используются разнообразные приборы внутрипорового давления. Согласно рекомендациям [3] для измерения внутрипорового давления в образце грунта используются приборы, основанные на компенсационном принципе, или датчики давления высокой жесткости.

Измерение напряжений в грунтах. Необходимость измерения напряжений в образцах возникает при использовании специальных методик испытаний грунтов. Для этих целей применяются датчики давлений – мессдозы, которые помещаются в грунт и контактируют конструктивными чувствительными элементами с частицами грунта, поровой водой и газом. В простейших вариантах мессдозы имеют форму цилиндрического диска, одна или две плоскости которого являются чувствительными элементами – мембранами, заделанными по контуру. С помощью мессдозы измеряется среднее напряжение в грунте по площади мембраны, которая прогибается под действием измеряемого давления. На мембрану наклеены тензорезисторы, которые преобразуют деформацию в электрический сигнал, передаваемый на вторичный прибор в измерительной системе.

Измерение массы образцов. Масса образцов грунта определяется путем взвешивания их на весах лабораторных по ГОСТ 24104 – 88Е с гирями по ГОСТ 7328 – 82Е. В учебных целях допускается использовать другие приборы и оборудование, обеспечивающие соблюдение требований к точности измерений, указанных выше.

Измерение температуры. Осуществляется с помощью жидкостных термометров.

Измерение влажности образцов. Измерение влажности в образцах грунтов осуществляется, как правило, термостатно-весовым методом, т.е. путем измерения массы образца в исходном и высушенном состояниях. Для выполнения опытов используются: шкаф сушильный; термометр; эксикатор по ГОСТ 23932 – 90 с

кальцием хлористым, прокаленным в муфельной печи; весы лабораторные по ГОСТ 24104 – 2001 с гирями по ГОСТ 7328 – 82Е; стаканчики стеклянные по ГОСТ 23932 – 90 или алюминиевые ВС-1.

1.6 Оценка погрешностей и ошибок испытаний грунтов

Результаты отдельных испытаний грунтов, даже для визуально однородных элементов геологического строения основания, обладают, обычно, существенным разбросом численных значений определяемой характеристики. Это обусловлено возникающими при испытаниях погрешностями и ошибками, которые могут быть грубыми, систематическими и случайными.

Грубые ошибки возникают в результате неверной записи показаний приборов, неисправности оборудования и измерительной техники, неаккуратной загрузки образцов грунта и других причин. Определения характеристик грунтов, содержащие грубые ошибки, обычно, исключаются из анализа данных исследований.

Систематические ошибки возникают по причинам:

а) погрешности инструментов вследствие неточности подгонки отдельных их деталей, неточности градуировки шкалы и установки прибора на нуль, износа и старения узлов и деталей и т.п.;

б) неточности установки измерительных средств;

в) негативные воздействия внешней среды (изменения температуры и влажности воздуха, возникновение электрических и магнитных полей, действие вибрации);

г) погрешности метода, возникающие при недостаточной обоснованности способа измерений (отсутствие теоретической основы метода измерений, упрощение схем и формульных зависимостей и др.).

Систематические ошибки и погрешности можно устранить или снизить путем своевременной поверки измерительных приборов, тарировки испытательных установок и устройств, строгого соблюдения стандартов на испытания, надлежащей организации рабочего места экспериментатора, проведения повторных испытаний, использования эталонов, устранения нежелательных воздействий внешней среды, проведения независимой оценки результатов исследований и др.

Случайные ошибки не могут быть исключены из опытов как, например, систематические. Они обусловлены совокупностью случайных факторов, таких, например, как неоднородностью грунтов, способом отбора проб и подготовки образцов, изменением условий проведения опытов и т.п. Однако влияние случайных ошибок на

результат испытания можно учесть путем использования аппарата теории вероятностей и математической статистики [4]. При таком подходе любая характеристика физико-механических свойств грунтов рассматривается как случайная величина. Поэтому оценивать свойства грунтов по единичному испытанию нельзя. Необходимо проводить повторные опыты. Так, например, в практике инженерно – геологических изысканий для целей промышленно-гражданского строительства минимальное число экспериментальных определений какой-либо характеристики принимается равным шести. Тогда основной задачей обработки результатов испытаний становится распространение данных выборочных определений характеристик грунтов на всю выделенную область основания. Конкретные методики обработки результатов испытаний грунтов приведены в 3.9.

1.7 Особенности испытаний грунтов в учебных целях

Представленные выше элементы общих правил лабораторных испытаний грунтов широко используются в современной практике геотехнических исследований. С учетом ряда упрощений изложенная методика используется и при проведении испытаний грунтов в учебных целях.

Необходимость введения упрощений вызвана, главным образом, ограничением времени на проведение испытаний, определяемым учебной программой курса. Основные особенности учебных испытаний грунтов состоят в следующем.

1 Для проведения испытаний возможно использование образцов нарушенного сложения или заранее подготовленных образцов естественного грунта.

2 При формировании программы исследований возможно применение упрощенных режимов испытания грунтов, включая траекторию нагружения, величину и продолжительность выдерживания ступеней нагрузки, время высушивания образцов грунта и др.

3 При проведении испытаний с учебной целью средства измерений поверке не подлежат. Контроль исправности средств измерений в этом случае осуществляется в порядке, установленном в правилах их эксплуатации и в соответствии с требованиями учебного процесса. На таких средствах измерения должна быть нанесена буква «У», в соответствии с требованиями СТ РК 2.4 – 2000 [2, с. 3].

4 Проведение испытаний осуществляется на двух-трех образцах-близнецах. Поэтому получаемые опытные данные следует относить к частным значениям определяемых характеристик грунтов.

При выполнении учебных испытаний грунтов необходимо:

а) знать соответствующий теоретический материал, четко представлять цели исследования и практического использования определяемых характеристик грунтов;

б) знать устройство приборов и испытательных установок, их назначение и приемы работы с ними;

в) точно выполнять заданный режим испытаний образцов грунта и аккуратно снимать показания измерительных приборов;

г) строго соблюдать правила техники безопасности при нагрузке и разгрузке установок, включении и выключении механизмов, электрооборудования, нагревательных приборов, использования различных вторичных приборов и т.п.

2 Определение физических характеристик грунтов

2.1 Методы определения физических характеристик грунтов

Физическое состояние грунта можно охарактеризовать с помощью ряда характеристик. Эти характеристики определяются опытным путем и вычислениями.

Характеристики грунтов, определяемые опытами. К их числу относятся: влажность грунта – W ; гигроскопическая влажность грунта – W_g ; влажность грунта на границе текучести – W_L ; влажность на границе раскатывания – W_p ; плотность грунта – ρ ; плотность частиц грунта – ρ_s .

При расчетах вместо характеристик плотности ρ , ρ_s используют показатели: удельный вес грунта $\gamma = \rho \cdot g$ и удельный вес твердых частиц $\gamma_s = \rho_s \cdot g$, где g – ускорение свободного падения.

Опытным путем устанавливается также гранулометрический состав грунта.

В практике проектирования, наряду с перечисленными выше характеристиками, используются и другие, дополнительные показатели состава и состояния грунтов. Так, при проектировании автомобильных дорог определяются максимальная плотность и оптимальная влажность, липкость, размокаемость, усадка грунта и др. Для разновидностей структурно-неустойчивых грунтов используются, например, характеристики засоленности, содержание органического вещества, льда и др. Их оценка приводится в ГОСТ 25100-95 [5].

В настоящем учебном пособии рассматриваются методики определения физических характеристик грунтов, не обладающих особыми свойствами, в соответствии с ГОСТ 5180-84 [7].

Вычисляемые характеристики грунтов. Используя опытные показатели можно определить ряд физических характеристик грунтов вычислением [5].

1 Плотность скелета грунта – плотность сухого грунта

$$\rho_d = \rho / (1 + W) \quad \text{или} \quad \rho_d = \rho_s \cdot (1 - n) . \quad (2.1)$$

2 Коэффициент пористости – отношение объема пор к объему твердых частиц

$$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d \quad \text{или} \quad e = (\rho_s / \rho) \cdot (1 + W) - 1 . \quad (2.2)$$

3 Пористость – отношение объема пор к общему объему образца грунта

$$n = e / (1 + e) \quad \text{или} \quad n = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s . \quad (2.3)$$

4 Полная влагоемкость – влажность грунта в условиях полного водонасыщения

$$W_{sat} = e \cdot \rho_w / \rho_s \quad \text{или} \quad W_{sat} = \rho_w \cdot (\rho_s - \rho_d) / (\rho_d \cdot \rho_s), \quad (2.4)$$

где ρ_w - плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

5 Объем твердых частиц в единице объема грунта

$$m = \frac{1}{1 + e}, \quad \text{тогда} \quad m + n = 1. \quad (2.5)$$

6 Удельный вес грунта в подводном состоянии

$$\gamma_{sw} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e} \quad \text{или} \quad \gamma_{sw} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 - n}. \quad (2.6)$$

7 Коэффициент водонасыщения – отношение объема воды в порах к объему пор

$$S_r = W \cdot \rho_s / (e \cdot \rho_w) \quad \text{или} \quad S_r = W \cdot \rho_s \cdot (1 - n) / n \cdot \rho_w. \quad (2.7)$$

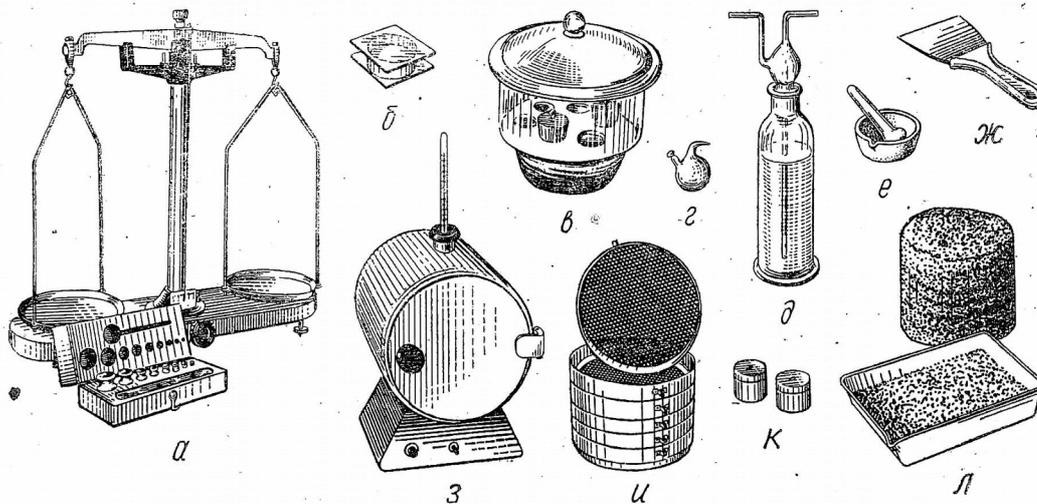
8 Число пластичности – интервал влажности, в котором перемятый глинистый грунт находится в пластичном состоянии

$$J_p = W_L - W_p. \quad (2.8)$$

9 Показатель текучести, характеризующий состояние глинистого грунта по консистенции

$$J_L = (W - W_p) / (W_L - W_p). \quad (2.9)$$

Оборудование для определения физических характеристик грунтов. При проведении испытаний используется следующее основное оборудование, представленное на рисунке 2.1.



а – технические весы с разновесами; б – металлическое режущее кольцо со стеклами; в – эксикатор; г – капельница; д – пикнометр; е – фарфоровая ступка с пестиком; ж – шпатель; з – сушильный шкаф с термометром (термостат); и – набор сит; к – стеклянные или алюминиевые бюксы; л – образцы грунта.

Рисунок 2.1 – Основное оборудование для определения физических характеристик грунтов

2.2 Определение гранулометрического состава песчаных грунтов

Цель работы: изучить методику определения гранулометрического состава грунтов ситовым методом.

Общие положения. Под гранулометрическим составом грунта понимается относительное содержание в нем (по массе) частиц различной величины.

Для определения гранулометрического состава песчаных грунтов выполняется гранулометрический анализ. Его сущность состоит в расчленении грунта на группы с близкими по величине частицами – фракции. Размер частиц обычно определяют по диаметру и выражают в миллиметрах. Исследование гранулометрического состава песчаных грунтов проводится методом ситового анализа по ГОСТ 12536-79 [6]. Для выделения фракций диаметром до 0,10 мм испытания грунта проводятся без промывки водой. При необходимости выделения фракций менее 0,10 мм проводится предварительная промывка грунта водой.

Задание

1 Провести гранулометрический анализ и установить наименование заданного песчаного грунта по крупности частиц.

2 Построить кривую гранулометрического состава грунта и определить коэффициент его однородности.

Оборудование и приборы. Гранулометрический анализ осуществляется при помощи комплекта сит. Стандартный комплект состоит из семи сит с размерами отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм.

Для подготовки и проведения испытаний также используются: лабораторные весы; стаканчики стеклянные; чашки фарфоровые; ступка фарфоровая; пестик с резиновым наконечником; груша резиновая; нож; эксикатор; шкаф сушильный.

Подготовка к испытаниям. Для проведения испытаний без промывки грунта водой используется набор сит с размером отверстий: 10; 5; 2; 1; 0,5 мм; с промывкой – 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм.

Отбор проб грунта для испытаний осуществляется методом квартования. Для этой цели пробу грунта разравнивают тонким слоем на листе уплотненной бумаги или фанеры и ножом устраивают на поверхности грунта борозды, разделяя ее на отдельные квадраты. Пробу для испытаний формируют путем отбора грунта понемногу из каждого квадрата. Для испытаний отбираются пробы грунта, высушенные до воздушно-сухого состояния и растертые в ступке с резиновым пестиком, весом 100...2000 г., в зависимости от крупности частиц.

Проведение испытания. Проведение гранулометрического анализа осуществляется в следующей последовательности.

1 Отобрать подготовленную пробу грунта, взвесить ее на лабораторных весах с точностью до 0,01 г. Результат взвешивания занести в журнал, таблица 2.1.

2 Взвешенную пробу пропустить через набор сит. Сита собираются в колонну так, чтобы диаметр отверстий в них уменьшался сверху вниз. Собранный комплект устанавливается на поддон. Просеивание осуществляется с помощью легких боковых ударов ладонями рук до полной сортировки частиц грунта.

3 Содержимое каждого сита, начиная с крупного, перенести в ступку и дополнительно обработать резиновым пестиком, после чего вновь просеять через то же сито над листом бумаги. Мелкие частицы, которые проходят через сито, перенести на следующее сито и продолжить обработку до тех пор, пока от грунта не перестанут отделяться мелкие частицы.

4 После просеивания содержимое каждого сита и поддона высыпать в предварительно взвешенные фарфоровые чашки и взвесить с точностью до 0,01 г. Результаты взвешивания занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Журнал ситового анализа

Показатели	Фракции грунта							
	> 10	10-5	5-2	2-1	1,00-0,50	0,50-0,25	0,25-0,10	< 0,10
1 Масса фарфоровой чашки с грунтом – $q_{\phi i}$, г.								
2 Масса фарфоровой чашки – q_{oi} , г.								
3 Масса грунта - $(q_{\phi i} - q_{oi})$, г								
4 Содержание фракции - A_i , %.								
$\sum A_i$								

Обработка результатов

1 Определить процентное содержание каждой фракции по формуле

$$A_i = \frac{q_{\phi i} - q_{oi}}{q_1} \cdot 100\%, \quad (2.10)$$

где A_i - содержание i - той фракции, %;

q_1 - масса всей пробы грунта, г;

$q_{\phi i}$ - масса i - той фракции вместе с чашкой, г;

q_{oi} – масса чашки, г

Все вычисления A_i произвести с точностью до 0,1% и занести в таблицу 2.1.

Для контроля необходимо сложить процентное содержание отдельных фракций и определить процент потерь грунта при просеивании. Расхождением до 1% можно пренебречь. Потерю грунта при просеивании распределить по фракциям пропорционально их массе.

2 Установить наименование песчаного грунта по крупности частиц. Для этой цели подсчитывается сумма процентов по массе фракций крупнее 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,1 мм. Наименование песчаного грунта по крупности устанавливается по таблице ГОСТ 25100-95 [5] по первому удовлетворяющему показателю.

3 По результатам ситового анализа построить кривую гранулометрического состава.

4 Определить коэффициент однородности грунта по формуле

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \quad (2.11)$$

где d_{60} и d_{10} – диаметры частиц, которых содержится в грунте меньше соответственно 60% и 10% по массе.

При $U \leq 3$ - грунт считается однородным.

Меры безопасности. При просеивании грунта и взвешивании отдельных фракций следует предостерегать глаза от попадания пылеватых частиц.

Пример анализа грансостава грунта. По результатам просеивания через стандартный набор сит пробы воздушно-сухого грунта массой 500 г получены следующие результаты – таблица 2.2 (строки 1 и 2). Произвести анализ гранулометрического состава грунта.

Решение. Последовательно суммируем содержание фракций частиц грунта, начиная с самых крупных, и сопоставляем полученный результат с классификационной таблицей по ГОСТ 25100-95 [5]:

- масса частиц крупнее 10 мм составляет 6% < 50%;
- масса частиц крупнее 2 мм составляет 21% < 25%;
- масса частиц крупнее 0,5 мм составляет 61% > 50% (песок крупный).

Таблица 2.2 – Гранулометрический состав грунта

Показатели	Фракции грунта							
	> 10	10-5	5-2	2-1	1,00-0,50	0,50-0,25 0,25-0,10	< 0,10	
1 Масса частиц, г	30	36	40	60	140	150	30	14
2 Содержание частиц, %	6	7	8	12	28	30	6	3
3 Суммарное содержание частиц, %	100	94	87	79	67	39	9	3
4 lg d	-	1	0,7	0,3	0	-0,3	-0,6	-1

Следовательно, рассматриваемый грунт – песок крупный. Заполняем строку 3 таблицы 2.2. Числа в строке 3 получают

последовательным суммированием процентов каждой фракции частиц грунта, меньших по диаметру верхнего интервала, приведенного в рассматриваемом столбце. Строим кривую гранулометрического состава грунта в полулогарифмической системе координат (рисунок 2.2).

Содержание частиц, %



Рисунок 2.2 — Кривая гранулометрического состава

Для упрощения построения графика в таблице lgd в строке 4 приведены логарифмы максимальных диаметров частиц, указанных в соответствующих столбцах.

По графику находим $U = 0,810,25 = 3,2$. Следовательно, рассматриваемый грунт — песок крупный, неоднородный.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под гранулометрическим составом грунта?
2. Как устанавливается наименование песчаного грунта в зависимости от крупности частиц?
3. Каков порядок определения гранулометрического состава песчаного грунта?
4. Какое влияние оказывает гранулометрический состав на показатели прочности, плотность сложения, водопроницаемость грунтов?

2.3 Определение влажности грунта

Цель работы: изучить методику определения влажности грунта.

Общие положения. Влажностью грунта W называют отношение массы воды, содержащейся в грунте, к массе этого грунта, высушенного до постоянной массы. Величина естественной влажности является важной характеристикой физического состояния грунта. Численные значения влажности используются для вычисления удельного веса, показателя текучести, степени влажности и других характеристик грунтов.

Задание

- 1 Изучить оборудование для определения влажности грунта.
- 2 Определить влажность заданного грунта.

Оборудование и приборы. Для выполнения работы применяется следующее оборудование: весы лабораторные с гирями; сушильный шкаф с термометром до 200 °С; алюминиевые стаканчики; шпатель металлический; нож с прямым лезвием; тигельные щипцы; эксикатор.

Проведение испытания

- 1 Взвесить пустой стаканчик с крышкой (m , г).
 - 2 Поместить в стаканчик навеску природного грунта массой 15...50 г, закрыть его крышкой и взвесить (m_1 , г). Номера стаканчиков, значения m и m_1 записываются в журнал (таблица 2.3).
 - 3 Стаканчики с грунтом ставятся в сушильный шкаф с открытыми крышками. Образцы грунта выдерживаются в сушильном шкафу при температуре (105 ± 2) °С до постоянного веса.
 - 4 По окончании высушивания стаканчики закрываются крышками и переносятся в эксикатор с хлористым кальцием, который поглощает водяные пары. Песчаные грунты высушивают в течение 3 часов, а остальные – в течение 5 часов.
 - 5 На следующем занятии стаканчики с высушенным грунтом взвешиваются (m_0 , г). Данные опытов заносятся в таблицу 2.3.
- Для каждого образца грунта необходимо произвести не менее двух определений влажности и найти ее среднее арифметическое значение.

Таблица 2.3 – Журнал определения влажности грунта

Номер стаканчика	Масса стаканчика с крышкой m , г	Масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой m_1 , г	Масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой m_0 , г	Влажность грунта W , %	
				отдельной пробы	средняя

Обработка результатов испытаний. Влажность грунта определяется по формуле [7]

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \cdot 100\% . \quad (2.12)$$

Допустимая разница Δ результатов параллельных определений влажности составляет: при $W > 5...10\%$ - $\Delta = 0,6\%$; при $W > 10...50\%$ - $\Delta = 2,0\%$; при $W > 50...100\%$ - $\Delta = 4,0\%$.

Меры безопасности. Перед проведением испытаний необходимо убедиться в исправности электрооборудования: дверца сушильного шкафа должна плотно закрываться; электрический провод и штепсельное соединение не должны иметь повреждений. Ставить стаканчики в шкаф и вынимать их из него разрешается только после отключения сушильного шкафа от электросети. Во избежание ожога стаканчики из сушильного шкафа вынимаются при помощи тигельных щипцов. Не допускается применение дефектного термометра.

Контрольные вопросы

1. Какие виды воды выделяют в грунтах?
2. Что понимается под весовой влажностью грунта?
3. Какое влияние оказывает влажность на физическое состояние грунтов?
4. Какое практическое применение имеет влажность грунта?

2.4 Определение границ текучести и раскатывания глинистого грунта

Цель работы: изучить методику определения влажности глинистых грунтов на границах текучести и раскатывания.

Общие положения. Механические свойства глинистых грунтов существенно зависят от их влажности. В зависимости от численного значения влажности грунт может находиться в одном из следующих состояний: твердое; пластичное; текучее. Поэтому для оценки состояния глинистого грунта, кроме природной влажности, дополнительно вводятся два следующих экспериментально определяемых показателя – границы текучести и раскатывания.

Граница раскатывания W_p – влажность, при которой грунт находится на границе твердого и пластического состояний.

Граница текучести W_L – влажность, при которой грунт находится на границе пластичного и текучего состояний.

Определение границы текучести производится при помощи стандартного балансного конуса А.А. Васильева путем погружения его в грунтовую массу под действием собственного веса.

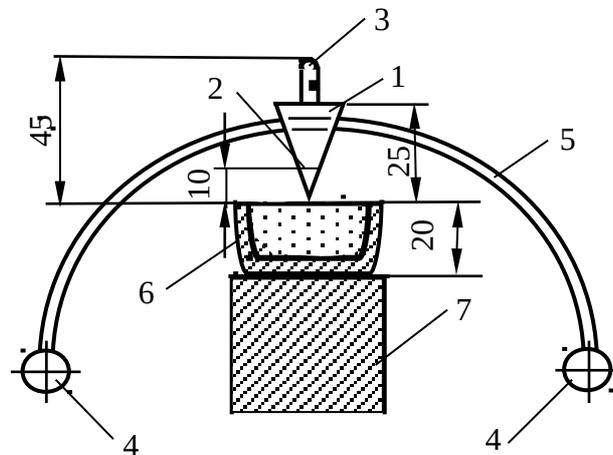
Влажность на границе раскатывания устанавливается на основе опытов с раскатыванием грунтового теста в жгутики диаметром 3мм.

Задание

1 Определить границы текучести и раскатывания заданного глинистого грунта.

2 Установить наименование испытываемого грунта.

Оборудование и приборы. Определение границы текучести грунтов производится при помощи стандартного балансного конуса А.А. Васильева. Для проведения опытов, кроме конуса, необходимо иметь: весы лабораторные с гирями; эксикатор; алюминиевые стаканчики; сушильный шкаф с термометром; тигельные щипцы; набор сит; чашка фарфоровая; фарфоровая ступка с резиновым пестиком; нож с прямым лезвием; лопатка плоская; подставки разные; шпатель; вазелин технический; секундомер СМ-60. Общая схема прибора для испытаний приведена на рисунке 2.3. Для определения границы раскатывания грунта необходимо иметь стеклянную пластинку.



1 – конус с углом при вершине 50° , $z = 1,5$ метка; 3 – ручка;
4 – груз; 5 – стальной прут; 6 – цилиндрическая чаша; 7 – подставка

Рисунок 2.3 – Балансный конус

Подготовка к испытанию. Образец грунта естественной

влажности массой около 300 г, поместить в фарфоровую чашку, размять шпателем или нарезать ножом в виде тонкой стружки (с добавлением дистиллированной воды, если это требуется). Затем грунт протереть через сито с сеткой №1 и поместить в стеклянный сосуд. Закрыть сосуд и выдержать грунт в таком состоянии не менее 2 часов.

Проведение испытания

Определение границы текучести. Выполнение работы осуществляется по следующей методике.

1 Подготовленное грунтовое тесто тщательно перемешать и заполнить им металлическую чашку. Поверхность теста заглаживать шпателем вровень с краями чашки.

2 Поднести к поверхности грунтового теста острие конуса, смазанное слоем вазелина, отпустить конус и дать ему в течение 5 секунд свободно погружаться в тесто под влиянием собственного веса.

3 Если за 5 секунд конус погрузится в грунтовую пасту на глубину до 10 мм (до круговой метки), верхний предел пластичности считается достигнутым.

4 При погружении конуса за 5 секунд на глубину более 10 мм, грунтовую пасту нужно извлечь из металлической чаши, переложить в фарфоровую чашку и дать подсохнуть на воздухе, перемешивая ее шпателем и повторить операции, указанные в пунктах 2 и 3.

5 Если конус за 5 секунд погрузился на глубину менее 10 мм, то грунт извлечь из металлической чаши, поместить в фарфоровую чашку, добавить немного дистиллированной воды и тщательно перемешать шпателем и повторить операции, указанные в пунктах 2 и 3.

6 Отобрать из грунтовой пасты пробу массой 15...20 г и поместить в заранее взвешенный алюминиевый стаканчик (масса m) и взвесить на технических весах (масса m_1). Все взвешивания проводить с точностью до 0,02 г. Полученные результаты занести в журнал.

7 Стаканчик с грунтом помещается в сушильный шкаф и выдерживается при температуре $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ до постоянного веса.

Таблица 2.4 – Журнал определения предела текучести грунта

--	--	--	--	--

Номер стаканчика	Масса стаканчика с крышкой m , г	Масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой m_1 , г Масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой m_0 , г	Граница текучести W_L , %	отдельной пробы	Средняя

8 По окончании высушивания вынуть стаканчик с грунтом из сушильного шкафа, закрыть крышкой и перенести в эксикатор, дать остыть и взвесить на технических весах (масса m_0).

9 Вычислить влажность на границе текучести по формуле [7]

$$W_L = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \cdot 100\% . \quad (2.13)$$

10 Для каждого образца грунта произвести не менее двух параллельных опытов и определить их средний результат. Допустимая разница Δ результатов параллельных определений W_L составляет: при $W_L < 80\%$ - $\Delta = 2\%$; при $W_L \geq 80\%$ - $\Delta = 4\%$.

Определение предела раскатывания

1 Для определения границы раскатывания W_p используется грунтовая паста, оставшаяся от определения предела текучести. Подготовленную грунтовую пасту тщательно перемешать. Отобрать небольшой кусочек и раскатать ладонью на стеклянной или пластмассовой пластинке до образования жгута диаметром 3 мм. Если при указанном диаметре жгута связность и пластичность грунтовой пасты сохраняются, то необходимо собрать ее в комок и вновь раскатать, слегка нажимая на жгут, до диаметра 3 мм. Длина жгута не должна превышать ширины ладони. Указанную операцию повторять до тех пор, пока жгут диаметром 3 мм не начнет делиться поперечными трещинами на кусочки длиной 3...10 мм.

2 Собрать кусочки жгута массой 10...15 г в заранее взвешенный алюминиевый стаканчик (масса m) и взвесить на технических весах с точностью до 0,02 г (масса m_1).

3 Алюминиевый стаканчик с открытой крышкой поместить в сушильный шкаф и выдержать в нем при температуре $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ до постоянной массы.

4 Вынуть стаканчик из сушильного шкафа, закрыть крышкой и перенести в эксикатор, на дне которого насыпан хлористый кальций, дать остыть и взвесить на весах (масса m_0). Результаты взвешивания занести в журнал (таблица 2.5).

5 Вычислить влажность грунта на границе раскатывания по формуле [7]

$$W_p = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \cdot 100\% . \quad (2.14)$$

6 Для каждого образца грунта произвести не менее двух параллельных опытов и определить их средний результат. Допустимая разница Δ результатов параллельных определений W_p составляет: при $W_p < 40\%$ - $\Delta = 2\%$; при $W_p \geq 40\%$ - $\Delta = 4\%$.

Таблица 2.5 – Журнал определения границы раскатывания грунта

Номер стаканч ика	Масса стаканчи ка с крышко й m , г	Масса стаканчика с крышкой и грунтом m_1 , г Масса стаканчика с крышкой и высушенным грунтом m_0 , г	Влажность на границе раскатывания W_p , %		
				отдельной пробы	средняя

7 Определить по формуле (2.8) число пластичности грунта и установить его наименование по ГОСТ 25100 – 95 [5].

Меры безопасности. При проведении испытаний соблюдать меры безопасности, изложенные для определения влажности грунта.

Контрольные вопросы

1. Что называется нижним и верхним пределами пластичности грунта?
2. Какое практическое применение имеют нижний и верхний пределы пластичности грунта?
3. Какие физические характеристики можно определить, зная нижний и верхний пределы пластичности грунта?

2.5 Определение плотности грунта методом режущего кольца

Цель работы: изучить методику определения плотности грунта.

Общие положения. Плотность грунта естественной структуры – это отношение массы образца грунта к его объему. Значение плотности грунта используют для характеристик физических свойств грунтов. Существует ряд методов определения плотности грунта: режущего кольца, взвешивания в воде и др. Чаще всего применяют метод режущего кольца. Этот метод применяется для связных грунтов, форма и объем которых могут быть сохранены при транспортировании их в лабораторию. Зная объем образца грунта, заключаемого в режущее кольцо и его массу, можно определить плотность грунта.

Задание

1 Определить экспериментально величину плотности заданного грунта методом режущего кольца.

Оборудование и приборы. Для определения плотности грунта методом режущего кольца используются: весы лабораторные с гирями; кольца – пробоотборники; лопатка плоская; нож с прямым лезвием; штангенциркуль; технический вазелин; пресс винтовой; насадка для вдавливания колец; пластинки гладкие (стекло, металл и т.п.).

Проведение испытания. Определение плотности грунта производится по следующей методике.

1 Измерить внутренний диаметр и высоту режущего кольца с точностью до 0,1 мм и взвесить его (масса m_0). По результатам измерений определить объем кольца с точностью до 0,1 см³. Записать номер кольца и результаты в таблицу 2.6. Покрыть кольцо изнутри тонким слоем вазелина.

2 Взвесить пластинки с гладкой поверхностью (масса m_2), произвести их нумерацию и записать результаты в таблицу 2.6.

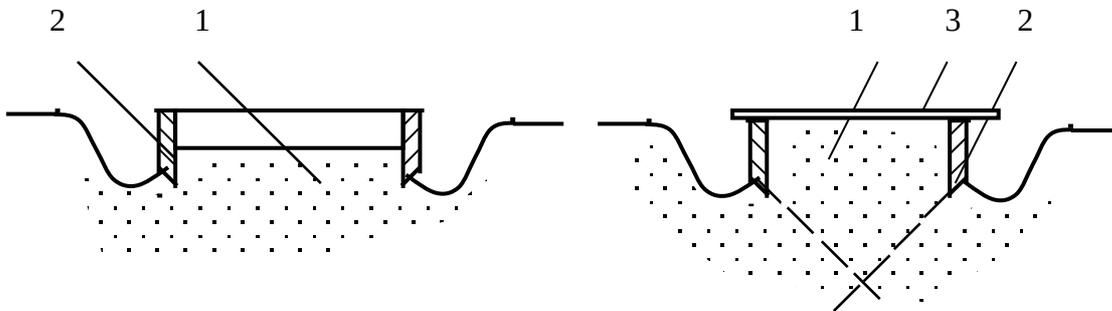
3 Выровнять верхнюю границу монолита грунта, установить на нее режущий край кольца и слегка вдавить его в грунт винтовым прессом или вручную с помощью насадки, фиксируя границу образца для испытаний.

4 С помощью ножа формируется столбик грунта диаметром на 1...2 мм больше наружного диаметра кольца. Затем легким нажимом с помощью винтового пресса или насадки насаживают кольцо на столбик грунта, не допуская перекосов. Далее вновь формируется столбик грунта и осуществляется насадка кольца.

5 После заполнения грунтом всего объема кольца его верхняя поверхность зачищается ножом и покрывается пластинкой. Грунт ниже кольца на 10 мм подрезается «на конус», отделяется от монолита

и поворачивается вверх конусом. Конус осторожно, мелкими дольками, срезается и зачищается вровень с краями кольца. Поверхность покрывается пластинкой. Кольцо снаружи тщательно протирается.

Схема погружения кольца в грунт приведена на рисунке 2.4.



1 – монолит грунта; 2 – режущее кольцо; 3 – пластинка
 При испытании пластичного или сыпучего грунта кольцо плавно, без перекосов, вдавливается в монолит. Грунт вокруг кольца зачищается, покрывается пластинкой и подхватывается снизу плоской лопаткой. Рисунок 2.4 – Схема погружения кольца в грунт. Затем кольцо поворачивается, зачищается вторая поверхность образца и покрывается пластинкой.

6 Производится взвешивание грунта с кольцом и пластинками (масса m_1).

Таблица 2.6 – Журнал определения плотности грунта

Ном ер коль -ца	Номе р плас- тинок верх/ низ	Масса кольца с грунтом и плас- тинками m_1 , г	Масса кольца m_0 , г	Масса плас- тинок m_2 , г Масса грунта m , г	Объем грунта V , см ³	Плотн ость грунта ρ , г/см ³		
							образ ца	сред- няя

Обработка результатов. Определить плотность грунта по формуле

$$\rho = \frac{m_1 - m_0 - m_2}{V} \quad (2.17)$$

Расхождение в конечных результатах параллельных определений допускается не более 0,03 г/см³ для глинистых грунтов и 0,04 г/см³ – для песчаных грунтов.

Меры безопасности. При работе с сухим песчаным грунтом следует предостерегать глаза от попадания пылевых частиц.

Контрольные вопросы

1. Что называется плотностью грунта?
2. Какими способами можно определить плотность грунта?
3. Какое практическое применение имеет плотность грунта?
4. Какие характеристики грунта можно определить, зная плотность грунта?

2.6 Определение плотности грунта методом взвешивания в воде

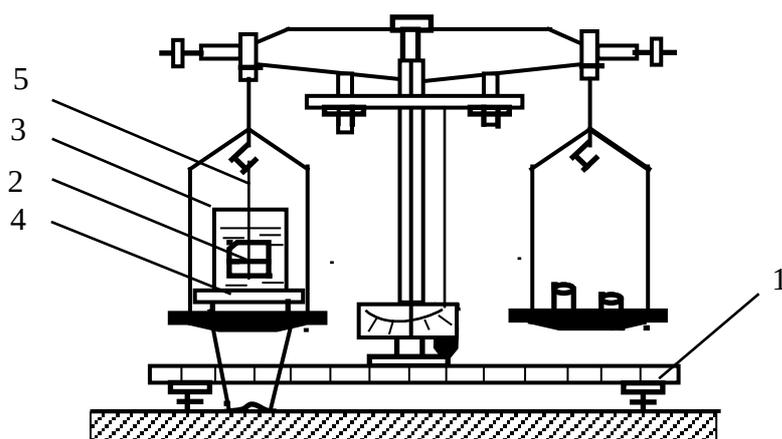
Цель работы: изучить методику определения плотности грунта методом взвешивания в воде.

Общие положения. Данный метод определения плотности используется для глинистых грунтов, склонных к крошению или трудно поддающихся вырезке.

Задание

1 Определить экспериментально величину плотности заданного глинистого грунта методом взвешивания в воде.

Оборудование и приборы. Необходимы: нож с прямым лезвием; весы лабораторные с гирями; стакан лабораторный 0,5 л; подставка; термометр; парафин; игла; нить; леска; бумага фильтровальная; вода дистиллированная; кисть. Схема взвешивания образца приведена на рисунке 2.5.



1 – весы лабораторные; 2 – парафинированный образец грунта; 3 – сосуд с водой; 4 – подставка; 5 – нить

Рисунок 2.5 – Взвешивание парафинированного образца грунта

Подготовка к испытаниям. Из монолита грунта вырезается проба объемом 50...100 см³. Пробе придается округлая форма, близкая к сфере или кубу с подрезанными углами и гранями. Поверхность образца тщательно очищается мягкой кистью от излишних прилипших частиц грунта. Образец обвязывается тонкой нитью со свободным концом длиной 15...20 см, имеющим петлю для подвешивания к серье весов. Парафин нагревается до температуры 57...60 °С.

Проведение испытания. Определение плотности грунта проводится в следующей последовательности.

1 Взвесить образец грунта, обвязанный нитью (масса m).

2 Погрузить образец грунта в расплавленный парафин на 2...3 секунды. После каждого погружения в парафин образец грунта тщательно осматривается. Все обнаруженные пузырьки на поверхности удаляются путем их прокалывания и заглаживания проколов разогретой иглой.

3 Парафинированный образец грунта охладить и взвесить (m_1).

4 Парафинированный образец подвесить за нитку к серье коромысла лабораторных весов и погрузить в сосуд с водой, установленный на специальной подставке. Вес парафинированного образца грунта в воде записать в журнал (масса m_2).

5 Взвешенный образец извлечь из воды, обтереть фильтровальной бумагой и взвесить для проверки герметичности оболочки. Если масса образца повысилась по сравнению с m на 0,02 г, то результат опыта забраковать и повторить испытание с другим образцом грунта.

Массу контрольного взвешивания образца грунта записать в журнал.

Обработка результатов. Плотность грунта ρ , г/см³ определяется по формуле [7]

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_p \cdot \rho_w}{\rho_p \cdot (m_1 - m_2) - \rho_w \cdot (m_1 - m)}, \quad (2.18)$$

где ρ_p - плотность парафина, принимаемая равной 0,900 г/см³;

ρ_w - плотность воды при температуре испытаний, г/см³.

Таблица 2.7 – Журнал определения плотности грунта

Масса, г				Плотность ρ , г/см ³	
грунта до парафинирования, m	парафинированного грунта, m_1	парафинированного грунта в воде, m_2	контрольная масса парафинированного грунта	образца	средняя

Меры безопасности. При работе с расплавленным парафином следует предостерегаться от ожогов.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой величина m_2 ?
2. Как определить объем парафина?
3. Как определить массу парафина?

2.7 Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом

Цель работы: изучить методику определения плотности частиц грунта пикнометрическим методом.

Общие сведения. Плотность частиц грунта – это отношение массы твердых (скелетных) частиц грунта к занимаемому ими объему. Плотность частиц грунта служит показателем минералогического состава грунта и является для конкретного образца величиной постоянной, не зависящей от плотности сложения и влажности грунта.

Задание

1 Определить экспериментально величину плотности частиц заданного грунта.

Оборудование и приборы. Необходимы: весы лабораторные с гирями; пикнометр; фарфоровая ступка с резиновым пестиком; баня песчаная; набор сит; воронка стеклянная; капельница или пипетка; шпатель; сушильный шкаф с термометром; фильтровальная бумага; дистиллированная вода; ванна с водой; термометр.

Проведение испытания. Проведение экспериментов осуществляется по следующей методике.

1 Сухой чистый пикнометр наполняется на $1/3$ его емкости дистиллированной водой и взвешивается (масса m_3).

2 Образец сухого грунта (масса 100...200 г) измельчается в ступке резиновым пестиком и просеивается через сито с сеткой №2. Остаток растирается в ступке и просеивается сквозь то же сито.

3 Из полученной пробы берется навеска грунта массой 15 г на каждые 100 мл вместимости пикнометра, осторожно высыпается через воронку в пикнометр и взвешивается на весах (масса m_4). Результаты взвешивания заносятся в журнал.

4 Содержимое пикнометра осторожно взбалтывается, до получения суспензии, в течение 1...2 минут. Суспензию кипятить в пикнометре на песчаной бане в течение 30 минут (пески и супеси).

5 Пикнометр с суспензией охладить в ванне с водой и долить в него капельницей дистиллированную воду до мерной риски на горлышке. Тщательно протереть горлышко пикнометра (снаружи и внутри выше мерной черты) фильтровальной бумагой.

6 Пикнометр вместе с навеской грунта и водой взвешивается на весах. Результат взвешивания заносится в журнал (масса m_1).

7 Содержимое пикнометра выливается. Пикнометр промывается, заполняется дистиллированной водой до мерной черты, протирается фильтровальной бумагой и взвешивается. Результат взвешивания заносится в журнал (масса m_2).

Таблица 2.8 – Журнал определения плотности частиц грунта

Номер пикнометра	Масса, г					Плотность частиц грунта ρ , г/см ³	
	пикнометра с водой на 1/3 его емкости, m_3	пикнометра с водой и грунтом, m_1	пикнометра с водой, m_2	сухого грунта, m_0	образца	средняя	
	пикнометра с водой на 1/3 его емкости и грунта, m_4						

Обработка результатов

1 Плотность твердых частиц грунта определить по формуле

$$\rho_s = \frac{\rho_w m_0}{m_0 + m_2 - m_1}, \quad (2.19)$$

где $m_0 = m_4 - m_3$ – масса сухого грунта, г;

ρ_w – плотность воды при той же температуре, г/см³.

2 Произвести не менее двух определений плотности частиц грунта и найти среднее арифметическое значение. Расхождение между результатами параллельных опытов не должно превышать $\Delta = 0.02 \text{ г/см}^3$, при $\rho_s < 2.75 \text{ г/см}^3$ и $\Delta = 0.03 \text{ г/см}^3$, при $\rho_s \geq 2.75 \text{ г/см}^3$.

Меры безопасности. При просеивании и взвешивании грунта следует предостерегать глаза от попадания пылевых частиц. Запрещается пользоваться пикнометром, имеющим сколы, трещины. В процессе кипячения суспензии не допускать её разбрызгивания. Запрещается пользоваться неисправной электроплиткой и поврежденным соединительным шнуром. Ставить пикнометр на баню и снимать его разрешается только после отключения электроплитки от электросети.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под плотностью твердых частиц грунта?
2. Как определяется плотность твердых частиц грунта?
3. Какое практическое применение имеет плотность твердых частиц грунта?
4. Какие физические характеристики грунта можно определить, зная плотность твердых частиц грунта?

2.8 Тест по определению физических характеристик грунтов

1 Удельный вес грунта есть отношение:

- а) веса твердых частиц к занимаемому ими объему;
- б) веса грунта (включая вес воды) к общему объему образца;
- в) веса твердых частиц к общему объему образца;
- г) веса воды к общему объему образца;
- д) веса воды и сухого грунта к занимаемому ими объему.

2 Удельный вес твердых частиц грунта есть отношение:

- а) веса твердых частиц к общему объему образца;
- б) веса твердых частиц к объему пор образца;
- в) веса твердых частиц к занимаемому ими объему в образце;
- г) веса твердых частиц к объему воды в образце;
- д) веса твердых частиц к объему твердых частиц и воды в образце.

3 Удельный вес сухого грунта есть отношение:

а) веса твердых частиц к общему объему образца;
б) веса твердых частиц к объему пор образца;
в) веса твердых частиц к занимаемому ими объему в образце;
г) веса твердых частиц к объему воды в образце;
д) веса твердых частиц к объему твердых частиц и воды в образце.

4 Природная влажность грунта есть отношение:

- а) веса воды к занимаемому ей объему;
- б) веса воды к объему пор образца;
- в) веса воды к объему твердых частиц в образце;
- г) веса воды к весу твердых частиц в образце;
- д) веса воды к общему весу образца.

5 Влажность грунта на границе текучести отвечает условию перехода грунта:

- а) из твердого состояния в пластическое;
- б) из пластического состояния в текучее;
- в) из твердого состояния в текучее;
- г) из текучего состояния в твердое;
- д) из мягкопластичного состояния в текучее.

6 Влажность грунта на границе раскатывания отвечает условию перехода грунта:

- а) из твердого состояния в пластическое;
- б) из пластического состояния в текучее;
- в) из твердого состояния в текучее;
- г) из текучего состояния в твердое;
- д) из мягкопластичного состояния в текучее.

7 Пористость грунта есть отношение:

- а) объема пор к общему объему образца;
- б) объема пор к объему твердых частиц в образце;
- в) объема пор к объему, занимаемому твердыми частицами и водой в образце;
- г) объема пор к объему, занимаемому водой в образце;
- д) объема, занимаемого воздухом к общему объему образца.

8 Коэффициент пористости грунта есть отношение:

- а) объема пор к общему объему образца;
- б) объема пор к объему твердых частиц в образце;

- в) объема пор к объему, занимаемому твердыми частицами и водой в образце;
- г) объема пор к объему, занимаемому водой в образце;
- д) объема, занимаемого воздухом к общему объему образца.

9 Молекулы воды, примыкающие к поверхности минеральной частицы входят в состав:

- а) рыхлосвязанной воды;
- б) свободной воды;
- в) прочносвязанной воды;
- г) капиллярной воды;
- д) гравитационной воды.

10 Вода, движение которой подчиняется законам гидравлики, называется:

- а) рыхлосвязанной водой;
- б) свободной водой;
- в) прочносвязанной водой;
- г) кристаллизационной;
- д) химически связанной.

11 Различают следующие виды внутренних связей в глинистых грунтах:

- а) только кристаллизационные;
- б) только цементационные;
- в) уплотнения и разуплотнения;
- г) структурно-текстурные;
- д) водно-коллоидные и жесткие (цементационные).

12 В основу используемой в строительстве классификации песчаных грунтов положено подразделение их по:

- а) удельному весу грунта;
- б) удельному весу твердых частиц грунта;
- в) размеру частиц, плотности их сложения, степеням влажности и неоднородности;
- г) значению прочности на сдвиг;
- д) величине модуля общей деформации.

13 В основу используемой в строительстве классификации глинистых грунтов положено подразделение их по:

- а) гранулометрическому составу;

- б) прочности на одноосное сжатие;
- в) числу пластичности и показателю текучести;
- г) коэффициенту пористости;
- д) степени неоднородности.

14 В качестве основной характеристики разновидности скальных грунтов принимается:

- а) степень влажности;
- б) модуль общей деформации;
- в) прочность на одноосное сжатие образцов в водонасыщенном состоянии;
- г) удельный вес грунта;
- д) предел прочности на одноосное растяжение.

15 По коэффициенту пористости грунта выделяется разновидность:

- а) глинистых грунтов;
- б) крупнообломочных грунтов;
- в) песчаных грунтов;
- г) скальных грунтов;
- д) искусственных грунтов.

16 По гранулометрическому составу выделяется разновидность:

- а) глинистых грунтов;
- б) крупнообломочных и песчаных;
- в) только крупнообломочных;
- г) только песчаных;
- д) скальных.

17 По числу пластичности и гранулометрическому составу выделяется разновидность грунтов:

- а) песчаных;
- б) скальных;
- в) илов;
- г) искусственных;
- д) только глинистых.

18 По степени неоднородности гранулометрического состава выделяется разновидность грунтов:

- а) глинистых;
- б) илов;
- в) крупнообломочных;

- г) песчаных;
- д) скальных.

19 По показателю текучести выделяется разновидность грунтов:

- а) песчаных;
- б) илов;
- в) скальных;
- г) глинистых;
- д) крупнообломочных.

20 По коэффициенту водонасыщения выделяется разновидность грунтов:

- а) илов;
- б) глинистых;
- в) только крупнообломочных;
- г) скальных;
- д) крупнообломочных и песчаных.

21 Пусть влажность грунта характеризуется состояниями: гигроскопическое – W_g ; природное – W ; на границе раскатывания – W_p ; на границе текучести – W_L . Тогда числом пластичности называют разницу:

- а) $W - W_L$;
- б) $W - W_p$;
- в) $W_L - W_p$;
- г) $W_p - W_g$;
- д) $W - W_g$.

22 Пусть влажность грунта характеризуется состояниями: гигроскопическое – W_g ; природное – W ; на границе раскатывания – W_p ; на границе текучести – W_L . Тогда показатель текучести грунта можно определить выражением:

- а) $(W - W_g)/(W_L - W_p)$;
- б) $(W_L - W)/(W_L - W_p)$;
- в) $(W_L - W_g)/(W_L - W_p)$;
- г) $(W_p - W_g)/(W_L - W_p)$;
- д) $(W - W_p)/(W_L - W_p)$.

23 Плотность грунта при влажности $W = 10\%$ равна $\rho = 1,76$ г/см³. Тогда плотность этого грунта при влажности $W = 19\%$ равна:

- а) 1,90 г/см³;

- б) 1,95 г/см³;
- в) 2,02 г/см³;
- г) 1,08 г/см³;
- д) 1,88 г/см³.

24 Несвязные минеральные грунты, содержащие более 50% частиц крупнее 2 мм, называют:

- а) крупными песками;
- б) песками средней крупности;
- в) пылеватыми песками;
- г) мелкими песками;
- д) крупнообломочными.

3 Определение механических характеристик грунтов

3.1 Общая характеристика методов испытаний грунтов

Основные параметры механических свойств грунтов. Под механическими свойствами грунтов, обычно, понимается их способность сопротивляться изменению объема и формы в результате силовых (поверхностных и массовых) и физических (изменение влажности, температуры и т.п.) воздействий.

В общем случае тип и количество характеристик механических свойств грунтов определяется используемой в геомеханических расчетах механико-механической моделью грунта. Подробные описания механических характеристик и расчетных моделей грунтов приводятся в учебниках Н.А. Цытовича [9], Б.И. Далматова и др. [10], а также в учебных пособиях С.С. Вялова [11], Ю.К. Зарецкого [12], М.В. Малышева и Г.Г. Болдырева [13], С.Б. Ухова и др. [14], Е.А. Исаханова, Т.С. Мусаева [15] и др.

Ниже приводятся определения ряда наиболее часто встречающихся в геотехнической практике характеристик механических и фильтрационных свойств грунтов в соответствии с ГОСТ 12248-96 [3] и ГОСТ 25584-90 [8].

Сопротивление грунта срезу – характеристика прочности грунта, определяемая значением касательного напряжения при котором происходит разрушение (срез).

Предел прочности на одноосное сжатие – отношение вертикальной нагрузки на образец грунта, при которой происходит его разрушение, к площади поперечного сечения образца.

Структурная прочность – вертикальное напряжение в образце грунта, соответствующее началу перехода от упругих к пластическим деформациям сжатия.

Коэффициент сжимаемости – отношение относительной вертикальной деформации (изменение коэффициента пористости) к давлению, вызвавшему эту деформацию.

Коэффициент поперечного расширения – показатель деформируемости, характеризующий отношение поперечных и продольных деформаций грунта.

Угол внутреннего трения – параметр прямой зависимости сопротивления грунта срезам от вертикального давления, определяемый как угол наклона этой прямой к оси абсцисс.

Удельное сцепление грунта – параметр прямой зависимости сопротивления грунта срезам от вертикального давления, определяемый как отрезок, отсекаемый этой прямой на оси ординат.

Модуль деформации – коэффициент пропорциональности линейной связи между приращениями давления на образец и его деформацией.

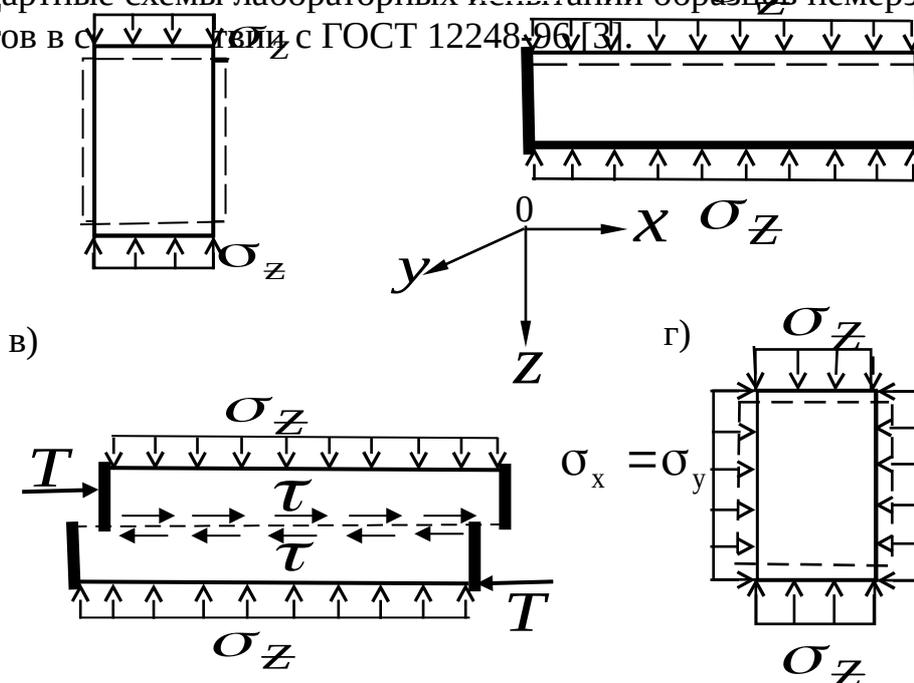
Модуль сдвига – характеристика деформируемости, определяемая отношением интенсивности касательных напряжений к интенсивности деформаций сдвига.

Коэффициент фильтрационной консолидации C_v и вторичной консолидации C_2 – показатели, характеризующие скорость деформации грунта при постоянном давлении за счет фильтрации воды и ползучести грунта.

Коэффициент фильтрации – величина скорости фильтрации воды при градиенте напора, равном единице.

Определение характеристик механических свойств грунтов производится, как правило, экспериментальным путем.

а) **мы испытаний образцов** б) **нта.** На рисунке 3.1 приведены стандартные схемы лабораторных испытаний образцов немерзлых грунтов в соответствии с ГОСТ 12248-96 [3].



а) – одноосное сжатие; б) – компрессионное сжатие; в) – плоский сдвиг; г) – трехосное сжатие в стабилометре

Рисунок 3.1 – Стандартные схемы испытаний образцов грунта

Схема трехосного сжатия, представленная на рисунке 3.1г, в наибольшей степени отвечает требованиям, предъявляемым к испытаниям грунтов. Изменяя величину и соотношение напряжений σ_z и $\sigma_x = \sigma_y$ можно с достаточной для практических целей точностью установить особенности деформирования и разрушения грунтов при сложном напряженном состоянии, характерном для реальных условий работы оснований зданий и сооружений.

Схема одноосного сжатия (рисунок 3.1а) не учитывает взаимодействие выделенного образца с окружающим массивом грунта. Этот метод испытания используется преимущественно для определения предела прочности скальных и полускальных грунтов.

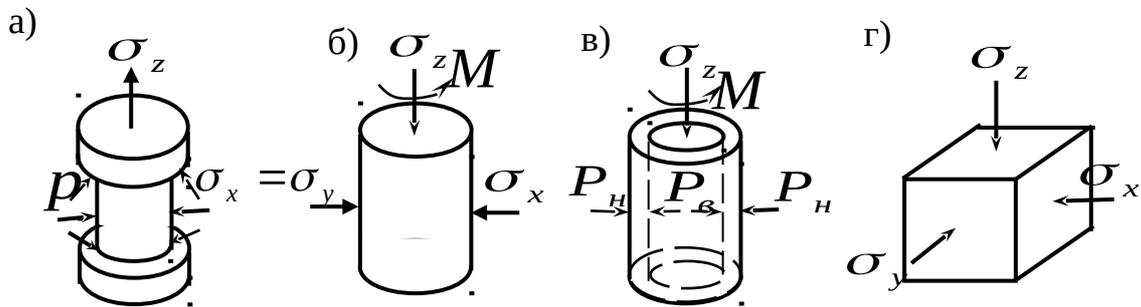
Наибольшее распространение в практике инженерно – геологических изысканий для строительства получили схемы испытания грунтов, приведенные на рисунках 3.1б и 3.1в.

Схема компрессионного сжатия (рисунок 3.1б) в наибольшей степени соответствует работе грунта в основании крупногабаритных плитных фундаментов, осадке грунта от действия сил собственного веса и других случаев одномерного уплотнения массива грунтов.

Схема одноплоскостного сдвига (рисунок 3.1 в) используется, как правило, для определения параметров прочности грунта: угла внутреннего трения φ и сцепления C .

Основной недостаток сдвиговых и компрессионных испытаний состоит в неопределенности напряженного состояния, возникающего в образце грунта при его нагрузке.

Наряду с представленными на рисунке 3.1 схемами испытаний в практике используются и другие, более сложные, специальные методы определения механических свойств грунтов (рисунок 3.2).



а) – сжатие-растяжение; б) – сжатие и кручение сплошного цилиндра; в) – трехосное сжатие и кручение полого цилиндра; г) – сжатие куба

Рисунок 3.2 – Схемы трехосных испытаний грунтов

Данные схемы испытаний позволяют наиболее полно учесть влияние на характеристики механических свойств грунтов вида напряженного состояния, траектории нагружения, поворота осей главных напряжений и др. Подробное изложение этих методов, используемых преимущественно в исследовательских целях и при проектировании сложных сооружений, приведено в работах А.К.Бугрова и др. [16, с. 150], С.С. Вялова [11, с. 355], З.Г. Тер - Мартиросяна [17, с. 62] и др.

Характеристики напряженно-деформированного состояния образцов грунта. При проведении механических испытаний в образцах грунта реализуется сложное напряженное состояние, характеризующееся, в общем случае, тремя компонентами нормальных: $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ и тремя парами касательных: $\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{xz} = \tau_{zx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}$ напряжений (рисунок 3.3а).

а) б)
 z z

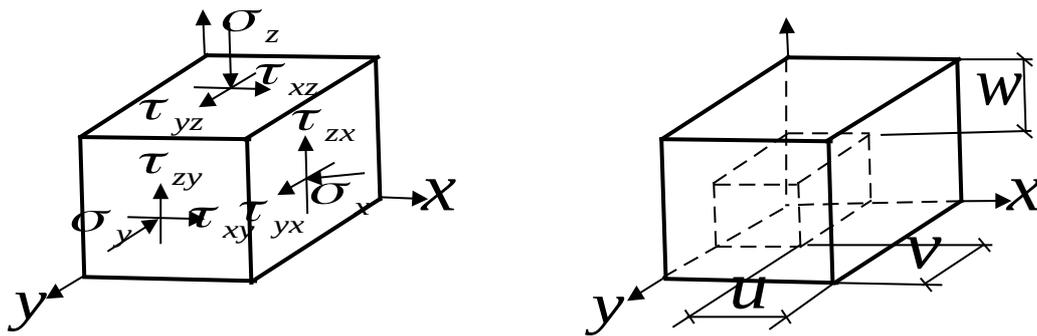


Рисунок 3.3 – Компоненты напряжений (а) и перемещений (б) в элементарном объеме грунта

Деформированное состояние образца грунта, по аналогии, определяется тремя компонентами линейных: $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ и тремя парами угловых: $\gamma_{xy} = \gamma_{yx}, \gamma_{xz} = \gamma_{zx}, \gamma_{yz} = \gamma_{zy}$ деформаций, либо перемещений v, u, w (рисунок 3.3б).

Эти компоненты можно выразить через главные напряжения и деформации, не зависящие от выбора положения осей координат x, y, z . Главные нормальные напряжения относятся к площадкам, по которым отсутствуют касательные напряжения, причем всегда принимается $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Деформированное состояние образца можно определить с помощью главных деформаций $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$. Однако, сравнивать по величине каждую из этих комбинаций между собой затруднительно. Поэтому, для характеристики напряженно-деформированного состояния образцов при испытаниях грунта, используют следующие инвариантные зависимости:

а) среднее напряжение и соответствующая ему средняя линейная деформация и общая объемная деформация

$$\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3, \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_m = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3) / 3, \quad (3.2)$$

$$\varepsilon_v = 3\varepsilon_m;$$

(3.3)

б) интенсивность касательных напряжений и соответствующая им интенсивность деформаций сдвига

$$\tau_i = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} / \sqrt{6}, \quad (3.4)$$

$$\gamma_i = \sqrt{2/3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}; \quad (3.5)$$

в) параметры вида напряженного и деформированного состояний

$$\mu_{\sigma} = |2\sigma_2 - (\sigma_1 + \sigma_3)| / (\sigma_1 - \sigma_3), \quad (3.6)$$

$$\mu_{\varepsilon} = |2\varepsilon_2 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_3)| / (\varepsilon_1 - \varepsilon_3). \quad (3.7)$$

Приведенные выше формулы используются для определения параметров ряда расчетных моделей грунтов, в особенности при сложном напряженном состоянии и нелинейной деформируемости грунтов.

Режимы и методики испытания образцов грунта. Количественные значения механических характеристик грунтов существенно зависят от режима нагружения образцов, условий оттока воды из грунта и других факторов. Учитывая, что нагружение оснований от возводимых зданий происходит постепенно, в течение определенного времени, то, и нагружение образцов грунта при испытаниях осуществляется, как правило, ступенями до заданной программой опытов величины. Обычно опыты проводятся при статическом приложении нагрузки. При расчете оснований на динамические и сейсмические воздействия используются специальные методики исследования грунтов, изложенные в работе [16, с. 58].

В зависимости от возможности удаления сжатой воды из грунта используют следующие системы испытаний.

Консолидированно – дренированное испытание – испытание грунта для определения характеристик прочности и деформируемости с предварительным уплотнением образца и отжатием из него воды в процессе всего испытания.

Консолидированно – недренированное испытание – испытание образца для определения характеристик прочности с предварительным уплотнением образца и отжатием из него воды только в процессе уплотнения.

Неконсолидированно – недренированное испытание – испытание грунта для определения характеристик прочности без предварительного уплотнения образца при отсутствии отжатия из него воды в процессе всего испытания.

При испытании структурно - неустойчивых грунтов требуется учитывать режим изменения в основании зданий и сооружений влажности, температуры и других физических воздействий. Необходимые для расчета оснований характеристики физико-механических свойств таких грунтов приведены в СНиП РК 5.01-01-2002 [18]. Результаты исследований механических свойств различных

типов региональных грунтов приведены в работах М.Ю. Абелева [19], Б.Б. Бакенова и др. [20], А.Ж. Жусупбекова [21] и др.

Автоматизация механических испытаний грунтов. Для современной практики геотехнических исследований характерно использование автоматизированных систем испытаний образцов грунта. Такие приборы, выпускаемые преимущественно зарубежными фирмами Японии, Италии, США, Великобритании и др., наряду с механическими устройствами, включают в себя микрокомпьютер. Описание приборов и установок такого типа для определения механических характеристик грунтов приведено в работах [22], [23] и др.

Имеются также приборы, в которых автоматизированы не только процесс измерения и обработки результатов испытаний, но и режим силового нагружения образцов грунта. Функциональная схема подобной системы, разработанная под руководством Г.Г. Болдырева [24], приведена на рисунке 3.4. Данная система включает следующие основные блоки: ПЭВМ; электронно-измерительный преобразователь (ЭИП); интерфейс между ПЭВМ и ЭИП; механические устройства для испытания грунтов на срез, компрессию, трехосное сжатие; пакет прикладных программ для управления и обработки результатов опытов; блок силового нагружения. Представленная система позволяет в автоматическом режиме задавать различные траектории нагружения образцов грунта, проводить одновременные испытания на 12 приборах, осуществлять автоматизированную обработку опытных данных.

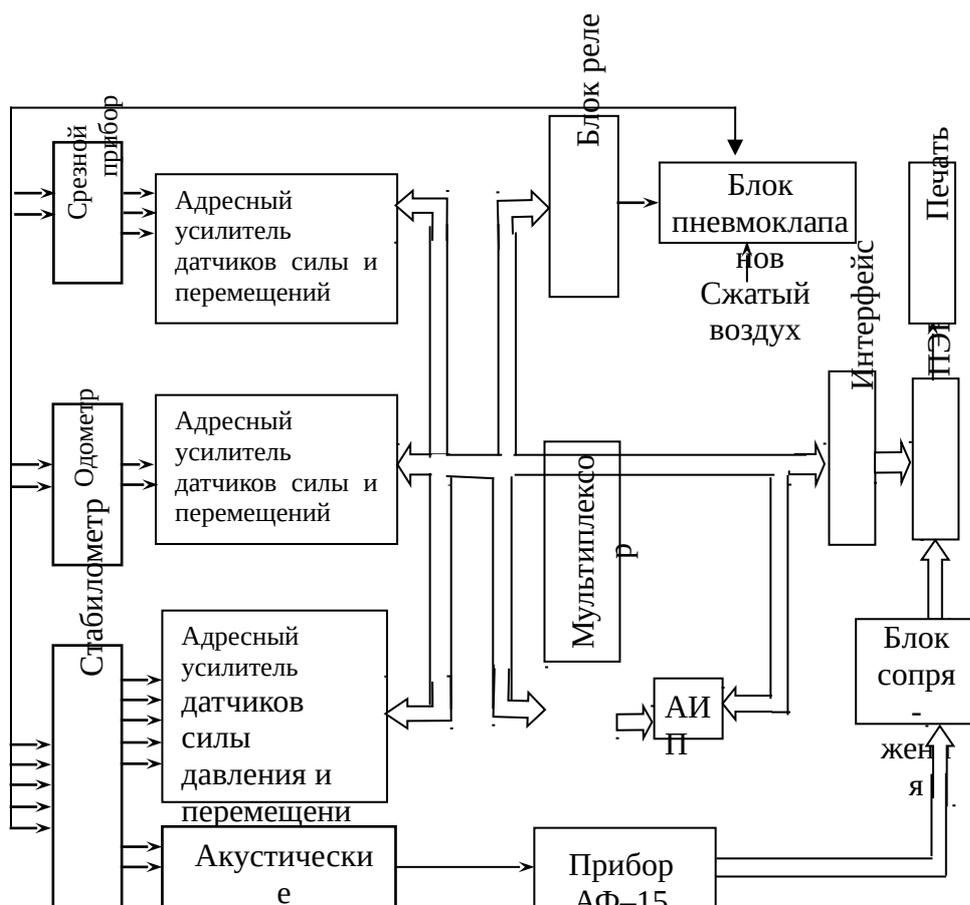


Рисунок 3.4 – Функциональная схема автоматизированной системы испытаний образцов грунта

В практике современных производственных и исследовательских испытаний грунтов часто используются измерительно-вычислительные комплексы (ИВК) – функционально объединенная совокупность средств измерений, компьютеров и вспомогательных устройств, предназначенная для испытаний грунтов с целью определения показателей их физико-механических характеристик. В программную подсистему комплекса, обычно, входят системное и общее прикладное программное обеспечение, в совокупности образующие математическое обеспечение. Это позволяет работать в диалоговом режиме, управлять приборами, обмениваться информацией внутри подсистем комплекса, осуществлять длительные испытания без оператора с непрерывной автоматической записью и обработкой результатов, проводить архивирование данных и диагностику технического состояния комплекса (градуировка, калибровка, аттестация).

3.2 Определение параметров прочности грунтов методом одноплоскостного среза

Цель работы: изучить методику определения параметров сопротивления грунтов сдвигу в лабораторных условиях.

Общие положения. Под сопротивлением грунтов сдвигу на некоторой площадке понимается величина наименьшего касательного напряжения τ при котором грунт, находящийся под действием нормального давления σ , разрушается. Сопротивление грунта сдвигу τ_{np} зависит от величины нормального напряжения σ и описывается следующей зависимостью Кулона

$$\tau_{np} = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (3.8)$$

где φ - угол внутреннего трения, град;
 C - сцепление грунта, кПа.

Величины C и φ называются параметрами прочности грунта. Эти параметры широко используются при проектировании оснований

и фундаментов, оценке устойчивости склонов и откосов, определении давления грунтов на подпорные и подземные сооружения, а также в других расчетах.

Закон Кулона в координатах $\sigma - \tau$ представляется прямой, наклоненной под углом φ к оси σ и отсекающей на оси τ отрезок, равный сцеплению C (рисунок 3.5 – кривая 1).

В сыпучих грунтах величина сцепления незначительна и в практических целях ею можно пренебречь (кривая 2 на рисунке 3.5).

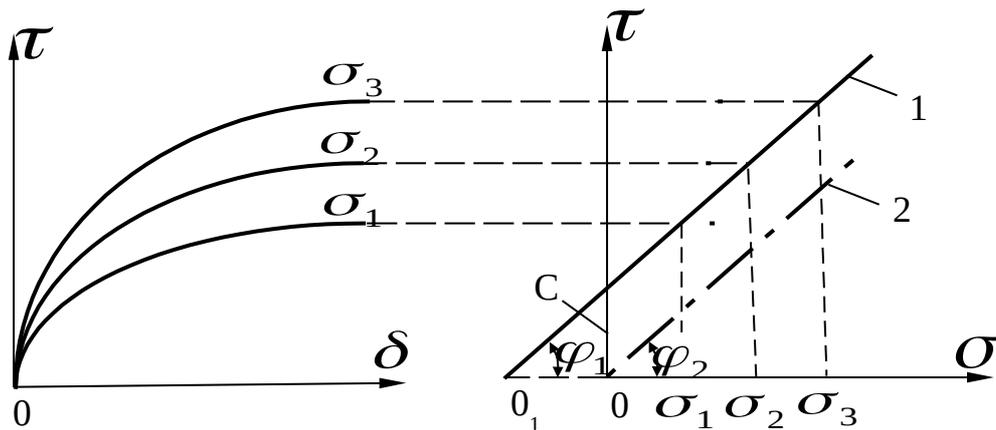


Рисунок 3.5 – Графики зависимости сопротивления грунтов сдвигу от нормального напряжения

Проведение опытов на сдвиг, в зависимости от решаемой при проектировании сооружения задачи, обычно, осуществляется по двум основным схемам:

а) консолидированно-дренированное испытание – для песков и глинистых грунтов, независимо от их степени влажности в стабилизированном состоянии;

б) неконсолидированно-недренированное испытание – для водонасыщенных глинистых и органоминеральных грунтов в нестабилизированном состоянии.

Если испытание проводится по неконсолидированно-недренированной схеме, то зависимость (3.8) принимает вид

$$\tau_{np} = (\sigma - u) \cdot \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (3.9)$$

где u - поровое давление.

Согласно ГОСТ 12248 – 96 [3, с. 4] испытанию подвергаются образцы грунта диаметром не менее 70 мм и высотой от 1/2 до 1/3 диаметра. По нормам США – ASTM 3080 [22, с. 24] и Великобритании

– BS 1377:7-4 [22, с. 24] испытываются образцы квадратной формы со стороной до 10 см или цилиндрической формы с диаметром до 10 см. В нормах Японии JGS 0560-2000 [23, с. 53] используются образцы грунта диаметром 6 см и высотой 2 см.

Задание

- 1 Изучить устройство срезного прибора.
- 2 Построить графики зависимостей деформаций сдвига δ от касательных напряжений τ , т.е. $\delta_i = f(\tau)$ и $\tau_{np} = f(\sigma)$.
- 3 Определить параметры прочности заданного грунта C и φ .

Оборудование и приборы. В состав установки для испытания грунтов на сдвиг входят:

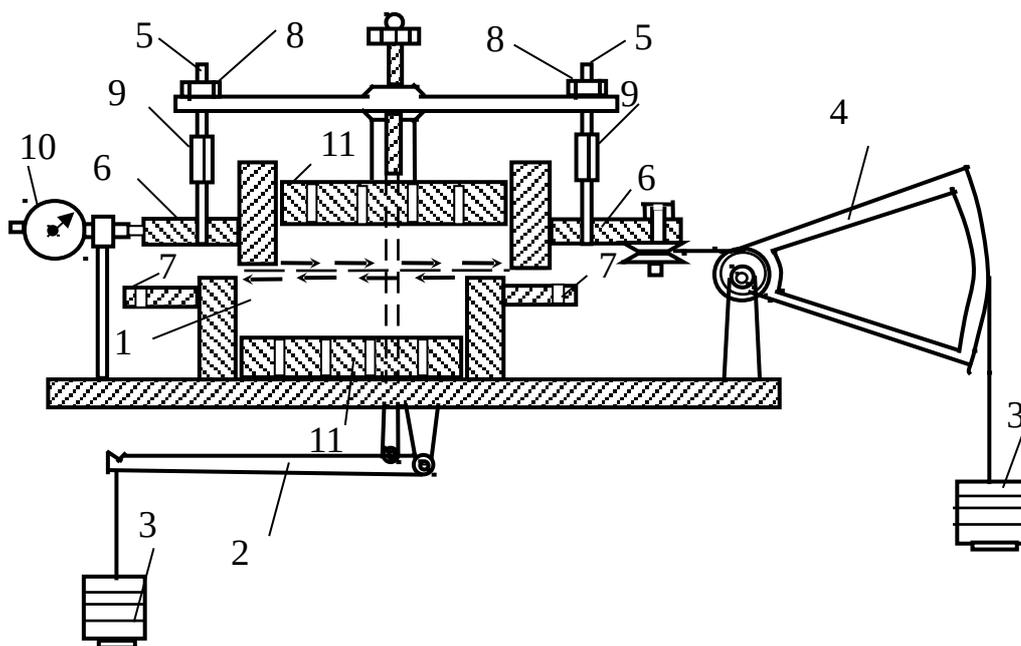
- а) срезная коробка, состоящая из подвижной и неподвижной частей и включающая рабочее кольцо, жесткие сплошной и перфорированный штампы;
- б) механизмы для вертикального нагружения образца и создания касательной нагрузки;
- в) устройства для измерения деформаций образца грунта и прикладываемой нагрузки.

Для испытания песчаных грунтов используется срезная коробка с нижней подвижной частью.

Принципиальная схема сдвигового прибора [25] приведена на рисунке 3.6.

Площадь образца грунта составляет, как правило, 40 см². Отношение плеч рычагов вертикальной и горизонтальной нагрузочных систем составляет 1:10.

Измерение горизонтальных перемещений грунта в ходе сдвига производится индикатором часового типа с точностью до 0,01 мм.



1 – образец грунта; 2 – рычаг вертикального нагружения; 3 – грузовые пластины; 4 – рычаг горизонтального нагружения; 5 – винты; 6 – верхняя (подвижная) часть каретки сдвигового прибора; 7 – нижняя (неподвижная) часть каретки сдвигового прибора; 8 – гайки; 9 – утолщенная часть винта с накаткой; 10 – индикатор; 11 – штамп.

Рисунок 3.6 – Принципиальная схема сдвигового прибора

Подготовка к испытанию. Подготовка образцов глинистого грунта нарушенной структуры к испытаниям производится в соответствии с указаниями 1.2. Предварительное уплотнение образцов глинистого грунта при консолидированно-дренированном испытании производится в уплотнителе, например, конструкции УГПС-12М до начала проведения занятия. При этом время условной стабилизации деформаций сжатия на конечной ступени должно составлять не менее: для супесей – 24 ч; суглинков с $J_p < 12$ – 6 ч; суглинков с $J_p \geq 12$ – 13 ч; глин – 12 ч; песков – 20 мин.

При испытании песчаного грунта предварительное его уплотнение производится непосредственно в срезном приборе.

Программа испытания. Экспериментальное определение τ_{np} производится при трех значениях нормальных напряжений σ : образец №1 - $\sigma = 0,1$ МПа; образец №2 - $\sigma = 0,2$ МПа; образец №3 - $\sigma = 0,3$ МПа.

Приложение касательных напряжений τ производится ступенями величиной 5% от значения нормальной нагрузки σ .

Проведение испытания. Проведение испытаний необходимо осуществлять в следующей последовательности.

1 Ознакомиться с конструкцией прибора и зарисовать его схему.

2 Ознакомиться с программой испытания и установить величину ступени касательной нагрузки.

3 Образец предварительно уплотненного грунта устанавливается в срезную коробку прибора 6, 7, подключается вертикальная 2 и горизонтальная 4 нагрузочные системы.

4 С использованием вертикальной нагрузочной системы 2 на образец грунта 1 через штамп 11 ступенями прикладывается заданное нормальное давление - σ .

5 После стабилизации вертикальных перемещений образца грунта выкручиваются винты 5, соединяющие неподвижную и подвижную части срезной коробки.

6 Устанавливается индикатор часового типа 10.

7 Подъемными винтами 9 создается зазор 0,5...1,0 мм между неподвижной и подвижной частями срезной коробки.

8 Записывается начальное показание индикатора и осуществляется ступенчатое приложение через нагрузочную систему к образцу грунта горизонтальной нагрузки T .

Приложение горизонтальной нагрузки осуществляется плавно ступенями ΔT вплоть до разрушения образца грунта. Сдвигающая нагрузка на каждой ступени поддерживается постоянной до тех пор, пока скорость горизонтального смещения подвижной части срезной коробки не снизится до 0,01 мм/мин. Отсчеты снимаются сначала через 2 минуты, а затем, в период затухания деформации, до ее условной стабилизации через 1 минуту.

Испытание считается законченным, если при приложении очередной ступени касательной нагрузки происходит срез одной части образца по отношению к другой или общая деформация сдвига превысит 5 мм. Результаты испытания заносятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Журнал испытания грунта на сдвиг

Номер ступен и ΔT_i	Величина ступени нагрузки ΔT_i , Н	Суммарная нагрузка на подвеске (от начала опыта) $T_i = \sum_{i=1}^n \Delta T_i$, Н	Время t от начала приложения данной ступени нагрузки ΔT_i , мин	Показание индикатора, мм

Обработка результатов

1 Результаты испытаний грунта заносятся в таблицу 3.2.

Величины нормальных и касательных напряжений в плоскости сдвига площадью A определяются по формулам

$$(3.10) \quad \sigma = 10 \sum_{i=1}^n F_i / A, \quad \tau_i = 10 \sum_{i=1}^n T_i / A,$$

где $\sum_{i=1}^n F_i$ и $\sum_{i=1}^n T_i$ – суммарные нагрузки, соответственно, на подвесках вертикальной и горизонтальной нагрузочных систем.

Таблица 3.2 – Результаты определения сопротивления грунта сдвигу

Ном ер опы та	Напряжения в плоскости среза		Стабилизированная деформация сдвига δ_i , мм	Предельное сопротивление сдвигу τ_{np} , МПа
	нормальное напряжение σ , МПа	касательное напряжение τ_i , МПа		

2 По данным таблицы 3.2 строятся графики $\delta_i = f(\tau_i)$ для каждого значения нормального напряжения σ . Все три зависимости $\delta_i = f(\sigma, \tau_i)$ располагаются на одном рисунке.

3 По данным таблицы 3.2 строится также график зависимости $\tau_{np} = f(\sigma)$.

4 Используя зависимость $\tau_{np} = f(\sigma)$ по графику, определяют параметры прочности грунта C и φ . При числе испытаний три и более параметры прочности могут быть определены статистически.

Частные

значения параметров прочности грунтов на одноплоскостной срез определяются по формулам метода наименьших квадратов [4]

$$tg \varphi_j = \frac{1}{\Delta} \left[k \sum_{i=1}^k \sigma_i \tau_i - \sum_{i=1}^k \sigma_i \sum_{i=1}^k \tau_i \right], \quad (3.11)$$

$$C_j = \frac{1}{\Delta} \left[\sum_{i=1}^k \tau_i \sum_{i=1}^k \sigma_i^2 - \sum_{i=1}^k \sigma_i \sum_{i=1}^k \sigma_i \tau_i \right], \quad (3.12)$$

$$\text{где } \Delta = k \sum_{i=1}^k \sigma_i^2 - \left[\sum_{i=1}^k \sigma_i \right]^2;$$

σ_i и τ_i – соответственно нормальное давление и сопротивление грунта сдвигу в i -м опыте;

k - число определений τ в каждой точке ИГЭ.

Если при вычислениях по формуле (3.12) получится $C_i < 0$, то принимают $C_i = 0$, а $tg\varphi_i$ определяют по формуле

$$tg\varphi_i = \sum_{i=1}^k \tau_i \sigma_i / \sum_{i=1}^k \sigma_i^2 . \quad (3.13)$$

Определение параметров прочности грунта на ПЭВМ. При количестве опытов на сдвиг три и более определение параметров прочности грунта можно выполнить по следующей компьютерной программе "SDVIG", написанной на языке Турбо-Паскаль.

```

program SDVIG;
var k,i:integer;
    sx,sy,xx,yy,xy,m,yo,r:real;
    x:array[1..3] of real;
    y:array[1..3] of real;
begin
write('k:');
readln(k);
writeln('first massive');
for i:=1 to k do
read (x[i]);
write ('k:');
readln (k);
writeln ('second massive');
for i:=1 to k do
read (y[i]);
sx:=0; sy:=0; xx:=0; yy:=0; xy:=0;
for i:=1 to k do
sx:=sx+x[i];
for i:=1 to k do
sy:=sy+y[i]
for i:=1 to k do
xx:=xx+x[i]*x[i];
for i:=1 to k do
yy:=yy+y[i]*y[i];
for i:=1 to k do
xy:=xy+x[i]*y[i];
m:=(k*xy-sy*sx)/(k*xx-sx*sx);
yo:=(sy-m*sx)/k;

```

```

r:=(k*xy-sx*sy)/
(sqrt(k*xx-sx*sx)*sqrt(k*yy-sy*sy));
if yo<0 then
  begin
    yo:=0;
    m:=xy/xx;
    writeln ('m=',m);
    writeln ('yo=',yo);
    writeln ('r=',r);
  end
else
  writeln ('m=',m);
  writeln ('yo=',yo);
  writeln ('r=',r);
end.

```

Примечания к программе.

1 Определение параметров прочности производится по формулам (3.11)...(3.13).

2 Входными параметрами являются: значения нормальных напряжений σ - (x) и сопротивления сдвигу τ - (y).

3 Выходными характеристиками являются: сцепление C - (yo), $tg\varphi$ - (m) и коэффициент парной корреляции, устанавливающий степень тесноты связи между x и y

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right)}}, \quad (3.14)$$

где n – число определений.

Тесноту связи считают удовлетворительной при $r \geq 0,5$ и хорошей – при $r \geq 0,8 \dots 0,85$.

Меры безопасности. Не допускается подвергать прибор резким толчкам и ударам. Для предотвращения падения грузов с подвески горизонтального рычага, при разрушении образца грунта, необходимо использовать стопор, установленный на станине прибора. Укладку грузов на подвески рычагов следует производить с перевязкой. При

разгрузке прибора первоначально снимаются грузы с подвески горизонтального рычага, а затем с подвески вертикального рычага.

Пример определения параметров прочности грунта. Твердая, в природном состоянии, супесь была испытана на одноплоскостной сдвиг в условиях ее полного водонасыщения. При этом получены следующие результаты:

при нормальном напряжении $\sigma_1 = 0,1$ МПа сопротивление сдвигу $\tau_1 = 0,065$ МПа;

при $\sigma_2 = 0,2$ МПа $\tau_2 = 0,12$ МПа;

при $\sigma_3 = 0,3$ МПа $\tau_3 = 0,17$ МПа.

Определить частные значения параметров прочности супеси: угол внутреннего трения φ и сцепление C .

Решение.

1 Наносим опытные точки на диаграмму сдвигов (рисунок 3.7).

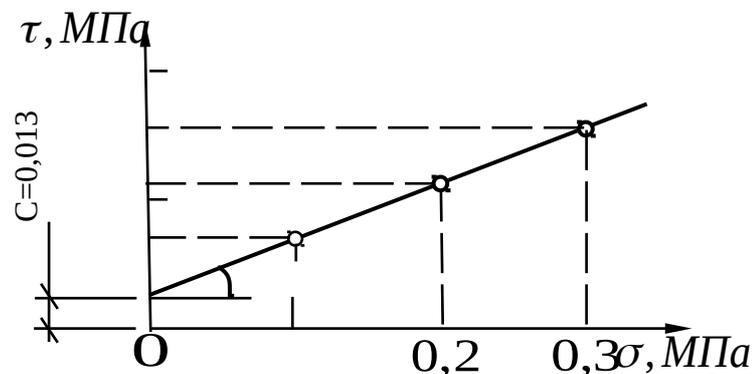


Рисунок 3.7 – График зависимости $\tau = f(\sigma)$

2 По формуле (3.11) определяем частное значение тангенса угла внутреннего трения супеси

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{3 \cdot (0,1 \cdot 0,065 + 0,2 \cdot 0,12 + 0,3 \cdot 0,17) - (0,065 + 0,12 + 0,17) \cdot (0,1 + 0,2 + 0,3)}{3 \cdot (0,1^2 + 0,2^2 + 0,3^2) - (0,1 + 0,2 + 0,3)^2} = 0,525$$

3 По формуле (3.12) определяем частное значение сцепления

$$C_j = \frac{1}{3} [(0,065 + 0,120 + 0,170) - 0,525 \cdot (0,1 + 0,2 + 0,3)] = 0,013 \text{ МПа.}$$

4 По полученным данным φ_j и c_j строим линейную диаграмму зависимости $\tau_{np} = f(\sigma)$ (рисунок 3.7).

Контрольные вопросы

1. Какими характеристиками определяется прочность грунта?
2. Как записывается условие прочности грунта по Кулону?
3. Как устроен прибор прямого сдвига?
4. Что понимается под параметрами прочности грунта на сдвиг?
5. Изложить методику определения параметров C и φ .
6. В каких расчетах используются характеристики прочности грунтов на сдвиг?

3.3 Определение прочности грунтов на одноосное сжатие

Цель работы: изучить методику определения характеристик прочности полускальных грунтов на одноосное сжатие.

Общие положения. Под пределом прочности грунта на одноосное сжатие понимается отношение приложенной к образцу вертикальной нагрузки, при которой происходит разрушение образца, к площади его первоначального поперечного сечения.

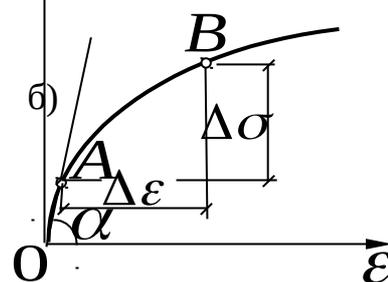
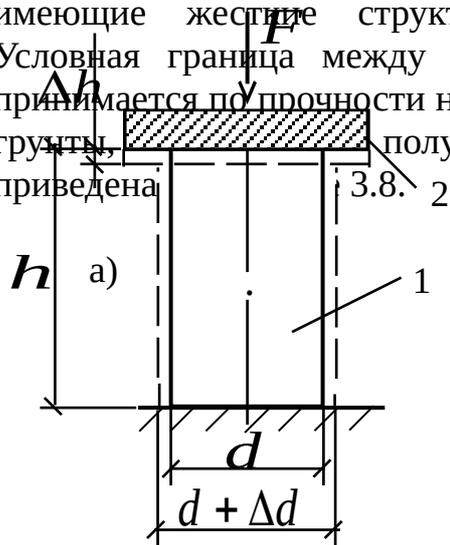
В опытах реализуется одноосное напряженное состояние. Тогда характеристики напряженно-деформированного состояния с использованием формул (3.1)...(3.7) будут определяться зависимостями:

$$\sigma_m = \sigma_1 / 3, \tau_i = \sigma_1 \sqrt{1/3}, \mu_\sigma = -1; \quad (3.15)$$

$$\varepsilon_m = (\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2) / 3, \varepsilon_v = 3\varepsilon_m = \varepsilon_1 + 2\varepsilon_2, \gamma_i = 2\sqrt{3}(\varepsilon_1 - \varepsilon_3) / 3, \mu_\varepsilon = -1. \quad (3.16)$$

По результатам этих опытов, в общем случае, нельзя построить зависимости $\varepsilon_m = f(\sigma_m)$ при величине $\tau_i = const$ и $\gamma_i = f(\tau_i)$ - при значении $\sigma_m = const$. Результат опыта дает единственную точку на кривой прочности Кулона - Мора. Поэтому основными определяемыми параметрами являются прочность на осевое сжатие R , а также касательный E_k и секущий E_c модули деформации при одноосном сжатии.

Испытанию подлежат образцы полускальных грунтов. В соответствии с ГОСТ 25100 - 96 [5, с. 13] к ним относятся грунты, имеющие жесткие структурные связи цементационного типа. Условная граница между скальными и полускальными грунтами принимается по прочности на одноосное сжатие ($R_c \geq 5 \text{ МПа}$ - скальные грунты, $R_c < 5 \text{ МПа}$ - полускальные грунты). Схема испытания приведена



а) – схема испытания: 1 – образец грунта; 2 – нагрузочная плита пресси; б) – зависимость деформаций ε от напряжений σ

Рисунок 3.8 – Испытания грунтов на одноосное сжатие

Образцы полускальных грунтов по ГОСТ 12248-96 [3, с. 12] изготавливаются диаметром от 40 до 100 мм и отношением высоты к диаметру от 1:1 до 2:1. Могут испытываться и образцы в форме прямоугольного параллелепипеда с торцевыми гранями размером от 40×40 до 100×100 мм и отношением высоты к размеру ребра торцевых граней от 1:1 до 2:1. Торцевые поверхности образца шлифуются. Для глинистых грунтов используются образцы диаметром не менее 38 мм и отношением высоты к диаметру 2:1. Испытания по ISRM и стандарту США – ASTM D4543 [22, с. 82] проводятся на образцах скальных грунтов диаметром 50 мм и высотой 100 мм. Есть стандарты на испытания образцов диаметром 50...55 мм и высотой 100...110 мм (ISRM, ASTM D2938, D3148 [22, с. 83]).

Задание

1 Изучить оборудование для определения прочности грунтов на одноосное сжатие.

2 Определить прочность заданного грунта на одноосное сжатие в условиях воздушно-сухого и водонасыщенного состояний.

3 Произвести классификацию грунта по прочностным характеристикам и дать его полное наименование.

Оборудование и приборы. Для испытания образцов полускальных грунтов используются: пресс с гидравлическим приводом; устройство для измерения вертикальной деформации образца; угольник поверочный; штангенциркуль; лекальная линейка; транспортир.

Подготовка к испытанию. Образцы грунта подвергаются тщательному осмотру и измерениям. Так, торцевые поверхности образца должны быть отшлифованы. Проверяется параллельность поверхностей образца по двум взаимно перпендикулярным диаметрам или сторонам параллелепипеда. Отклонения не должны превышать 0,1 мм по длине диаметра. Отклонения от перпендикулярности торцевых поверхностей к боковой грани образца контролируются угольником в четырех точках каждой торцевой поверхности, смещенных относительно друг друга на 90°. В этих же точках измеряют диаметр (или стороны торцевой грани) и высоту образца. Отклонения при каждом измерении не должны превышать 1,0 мм по длине диаметра (или стороне торцевой грани) и высоте образца. При подготовке образцов к испытанию должны быть зафиксированы: слоистость, неоднородность, трещиноватость, наличие включений и др. Образцы полускальных грунтов, имеющие сквозные трещины, видимые невооруженным глазом, испытанию не подлежат.

Проведение испытания

1 Образец грунта помещается в центре опорной плиты прессы и приводится в соприкосновение с верхней площадкой прессы.

2 Производится подключение устройств для фиксации усилий на образец и перемещений его торца с записью начальных показаний.

3 Осуществляется плавное, равномерное нагружение образца со скоростью 0,01...0,05 МПа/с вплоть до его разрушения. Результаты опыта заносятся в журнал.

Таблица 3.3 – Журнал испытания грунта методом одноосного сжатия

Разрушающая сила F , кН		Относительная вертикальная деформация в момент разрушения ε	Предел прочности образца грунта на одноосное сжатие R , МПа, в состоянии			
в воздушно-сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии		воздушно-сухом		водонасыщенном	
		отдельно го образца	средняя	отдельно го образца	средняя	

Если результаты параллельных испытаний отличаются более чем на 20%, то проводится третий опыт.

Обработка результатов

1 Вычислить предел прочности полускального грунта на одноосное сжатие по формуле

$$R = F / A_0,$$

(3.17)

где F - нагрузка, при которой происходит разрушение, кН;
 A_0 - начальная площадь поперечного сечения образца, м².

По значению R таблицы 3.3 с использованием ГОСТ 25100 – 96 [5, с. 26] установить разновидность скального грунта по прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии.

При фиксации напряжений σ и осевых деформаций ε можно построить график зависимости $\varepsilon = f(\sigma)$ (рисунок 3.8б) и определить характеристики деформируемости грунта при одноосном сжатии:

а) по начальному линейному участку ОА – касательный модуль сжатия $E_k = \sigma / \varepsilon$;

б) по криволинейному участку АВ – секущий модуль сжатия $E_c = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$.

2 Определить коэффициент размягчаемости грунта в воде по формуле

$$K_{sor} = R_b / R_c, \quad (3.18)$$

где R_b - прочность грунта в водонасыщенном состоянии, МПа;

R_c - прочность грунта в воздушно-сухом состоянии, МПа.

Если $K_{sor} \geq 0,75$, то грунт неразмягчаемый. При $K_{sor} < 0,75$ - размягчаемый.

3 Привести полное наименование испытанного образца грунта по прочностным характеристикам.

Меры безопасности. При испытании необходимо предохраняться от возможного отскока частиц грунта при его разрушении.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под пределом прочности грунта на сжатие?
2. Что определяет коэффициент размягчаемости грунта?
3. Для каких целей определяется прочность полускального грунта на одноосное сжатие?
4. По каким показателям классифицируются скальные грунты?

3.4 Определение характеристик деформируемости грунтов методом компрессионного сжатия

Цель работы: изучить методику определения характеристик сжимаемости грунтов на основе компрессионных испытаний.

Общие положения. Сжимаемостью грунтов называют способность их уменьшения в объеме (давать осадку) под действием внешней нагрузки. Определить вероятную осадку сооружения можно только при наличии данных о сжимаемости грунтов – коэффициентов сжимаемости или модулей деформации.

Наиболее распространенными в практике лабораторных определений коэффициента сжимаемости и модуля деформации грунта являются компрессионные испытания. Их сущность состоит в сжатии цилиндрического образца грунта без возможности бокового расширения. Результаты испытания представляются в виде зависимости относительной деформации образца грунта от давления $\varepsilon = f(P)$ или зависимости коэффициента пористости грунта e от давления P , называемой компрессионной кривой (рисунок 3.9 а, б).

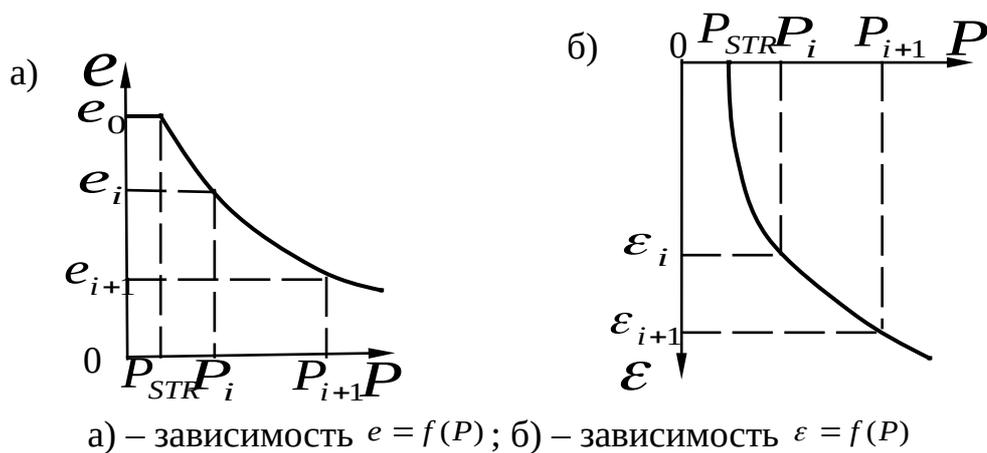


Рисунок 3.9 – Компрессионные зависимости

В опытах реализуется сложное напряженное состояние, когда коэффициент бокового давления грунта λ неизвестен, т.е. $\sigma_2 = \sigma_3 = \lambda\sigma_1$ и $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$. Тогда характеристики напряженно-деформированного состояния, с использованием формул (3.1)...(3.7), будут определяться следующими зависимостями

$$\sigma_m = \sigma_1(1 + 2\lambda)/3, \quad \tau_i = \sqrt{3}(1 - \lambda)\sigma_1/3, \quad \mu_\sigma = -1, \quad (3.19)$$

$$\varepsilon_m = \varepsilon_1/3, \quad \varepsilon_v = 3\varepsilon_m = \varepsilon_1, \quad \gamma_i = 2\varepsilon_1/\sqrt{3}, \quad \mu_\sigma = -1. \quad (3.20)$$

Поскольку коэффициент λ неизвестен, то неизвестной становится и траектория нагружения образца грунта. Определить точно величину λ можно только путем непосредственных измерений.

Используя компрессионную кривую, определяют необходимые характеристики грунта – коэффициент сжимаемости m_0 , коэффициент относительной сжимаемости m_v и модуль деформации E . Коэффициент сжимаемости для установленного интервала давлений P_i и P_{i+1} определяется по следующей зависимости

$$m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i}, \quad (3.21)$$

где e_i, e_{i+1} - коэффициенты пористости, определяемые по компрессионной кривой при выбранном интервале давлений.

По величине коэффициента сжимаемости определяется коэффициент относительной сжимаемости грунта

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0}, \quad (3.22)$$

где e_0 - начальный коэффициент пористости грунта.

Модуль деформации грунта по компрессионной кривой определяется по зависимости

$$E = \frac{(1 + e_0)}{m_0} \cdot \beta, \quad (3.23)$$

где β - поправка, учитывающая отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе, определяемая по формуле

$$\beta = 1 - 2 \cdot \nu^2 / (1 - \nu), \quad (3.24)$$

где ν - коэффициент поперечной деформации грунта.

При отсутствии экспериментальных данных допускается принимать ν равным: 0,30...0,35 – для песков и супесей; 0,35...0,37 – для суглинков; 0,2...0,3 при $J_l < 0$; 0,3...0,38 при $0 \leq J_l \leq 0,25$; 0,38...0,45 при $0,25 < J_l \leq 1,0$ – для глин.

По графику зависимости $\varepsilon = f(p)$ можно определить также структурную прочность грунта P_{str} (рисунок 3.9).

Для испытаний по ГОСТ 12248-96 используются образцы ненарушенного сложения или образцы нарушенного сложения с заданной плотностью и влажностью. Образцы должны иметь форму цилиндра диаметром не менее 71 мм и отношением высоты к диаметру 1:3,5.

По зарубежным нормам (BS 1377.5, ASTM D2435 и др.) испытанию подлежат образцы грунта диаметром от 50,47 мм до 112,8 мм (площадь 20...100 см²) и высотой 20...25 мм.

Задание

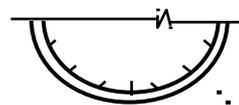
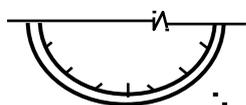
- 1 Изучить устройство компрессионного прибора.
- 2 Построить график $\varepsilon = f(p)$ и компрессионную кривую $e = f(P)$ для режима нагружения и разгрузки.
- 3 Определить характеристики сжимаемости грунта - коэффициент сжимаемости, коэффициент относительной сжимаемости и модуль деформации.

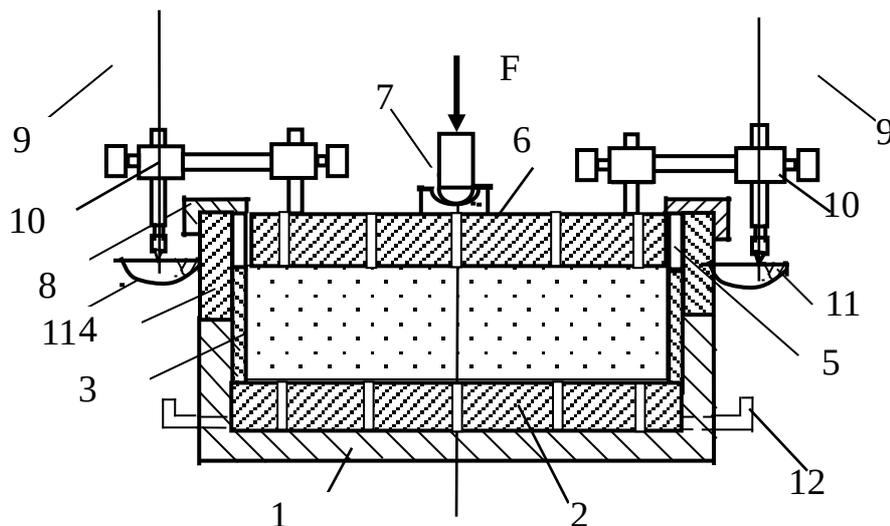
Оборудование и приборы. Испытание грунта производится на установке, включающей: компрессионный прибор (одеметр); механизм для вертикального нагружения образца грунта; устройство для измерения вертикальных деформаций образца грунта. На рисунке 3.10

приведена принципиальная схема основной части испытательной установки – компрессионного прибора.

Подготовка к испытанию. При подготовке к испытанию необходимо выполнить следующие работы.

- 1 Подготовить образец грунта природного сложения или нарушенной структуры в соответствии с указаниями 1.2.
- 2 Определить необходимые физические характеристики грунта – удельный вес; удельный вес частиц и влажность. Для учебных испытаний используются готовые образцы грунта с известными показателями физических характеристик.
- 3 Образец грунта в рабочем кольце взвесить, покрыть с торцов влажными фильтрами и поместить в компрессионный прибор.
- 4 Собрать компрессионный прибор и установить его на станину нагрузочного устройства.
- 5 Закрепить на штампе 6 через держатель 10 два индикатора 9 и проверить правильность сборки прибора.





1 – нижняя обойма; 2 – дырчатый диск; 3 – режущее кольцо; 4 – верхняя обойма; 5 – направляющее кольцо; 6 – дырчатый штамп; 7-шарик; 8 – стопорная гайка; 9 – индикатор; 10 – держатель индикатора; 11 – опорная пятка; 12 – штучер

Рисунок 3.10 – Схема компрессионного прибора

Проведение испытания

1 Записать начальные отсчеты по индикаторам.

2 К образцу грунта через рычажную систему приложить первую ступень нагрузки, после чего сразу же включить секундомер. Величина этой ступени нагрузки для песчаного грунта принимается в зависимости от коэффициента пористости по таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Величина первой ступени нагрузки

Коэффициент пористости	$e \geq 0,75$	$0,75 > e > 0,6$	$e \leq 0,6$
Первая ступень давления P_1 , МПа	0,0125	0,025	0,05

При испытании глинистых грунтов ненарушенной структуры, для определения P_{str} , первая и последующие ступени принимаются равными 0,0025 МПа до начала сжатия образца грунта. За начало сжатия принимается величина относительной деформации образца грунта $\varepsilon > 0,005$.

3 Записать в журнал испытаний отсчеты по индикаторам (по черной шкале) в следующей последовательности: первый – сразу

после приложения нагрузки, затем через 0,25; 0,5; 1; 2; 5 и 10 минут. Десять минут условно принято за время стабилизации деформаций образца грунта в ходе учебных испытаний.

4 Производится последовательное приложение уплотняющей нагрузки ступенями, равными 0,0125; 0,025; 0,05; 0,1 МПа и далее с интервалом 0,1 МПа, до необходимого предела (0,2...0,3 МПа). Результаты измерения вертикальных перемещений образца грунта по каждой ступени нагрузки через промежутки времени, указанные в п.3, заносятся в журнал испытания.

5 После достижения заданного значения вертикальных напряжений произвести разгрузку образца ступенями в обратном порядке.

6 После окончания испытания одомер разбирается и взвешивается рабочее кольцо с грунтом.

Таблица 3.5 – Результаты компрессионных испытаний

Время t , час, мин.	Вес груза на подвеске рычага прибора N_i , Н	Среднее давление на образец p_i , МПа	Показание индикатора, мм	Осадка образца Δh_i , мм

Обработка результатов. Обработка результатов компрессионных испытаний ведется в табличной форме.

Таблица 3.6 – Обработка результатов компрессионных испытаний

Давле- ние p_i , МПа	Относи- тельная деформа- ция $\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h}$	Прираще- ние коэффици- ента пористос- ти Δe_i	Кoeffи- циент порист- ости e_i	Кoeffи- циент сжимаем- ости m_0 , 1/МПа	Кoeffициен- т относитель- ной сжимаемос- ти m_v , 1/МПа	Модуль деформац- ии E , МПа

Величина относительной сжимаемости образца ε_i определяется с точностью до 0,001 по формуле

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h}, \quad (3.25)$$

где Δh_i - абсолютная осадка образца, мм (таблица 3.5);
 h - начальная высота образца.

По величине относительной деформации строится основной график компрессионного испытания $\varepsilon = f(p)$ - рисунок 3.9б. Величина давления, соответствующая точке пересечения кривой $\varepsilon = f(p)$ с осью давления (P) принимается за структурную прочность грунта при сжатии P_{str} .

Далее устанавливается зависимость изменения коэффициента пористости от давления.

Приращение коэффициента пористости Δe_i при нагрузке образца грунта определяется по формуле

$$\Delta e_i = (1 + e_0) \cdot \varepsilon_i, \quad (3.26)$$

где ε_i - относительная деформация (таблица 3.6);

e_0 - начальный коэффициент пористости грунта.

Значение e_0 определяется по зависимости

$$e_0 = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d}, \quad (3.27)$$

где γ_s и γ_d - удельный вес частиц и сухого грунта, определяемые на этапе подготовки испытаний.

Коэффициент пористости грунта e_i определяется по формуле

$$e_i = e_0 - \Delta e_i. \quad (3.28)$$

По данным таблицы 3.6 строится компрессионная зависимость $e = f(p)$ - рисунок 3.9 а.

Определение характеристик деформируемости грунта производится следующим образом.

На построенных графиках выделяется расчетный интервал давлений P_i и P_{i+1} , где зависимости $\varepsilon = f(p)$ и $e = f(p)$ имеют близкий к линейному закону характер. Определяются соответствующие этим давлениям значения ε_i , и ε_{i+1} , e_i и e_{i+1} . С использованием компрессионной кривой по формулам (3.21), (3.22) определяются с точностью до 0,001 МПа соответственно m_0 и m_v . Модуль деформации грунта E в интервале давления от P_i до P_{i+1} основной экспериментальной кривой $\varepsilon = f(p)$ определяется с точностью 0,1 МПа по формуле

$$E = \frac{P_{i+1} - P_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i} \cdot \beta, \quad (3.29)$$

где β - приведено в формуле (3.24).

Можно также определить модуль деформации по компрессионной кривой с использованием формулы (3.23).

Определение характеристик сжимаемости на ПЭВМ.
 Определение параметров сжимаемости грунта можно выполнить также по следующей компьютерной программе "COMPRESS", написанной на языке Турбо-Паскаль.

program COMPRESS;

var k,i:integer;

 sx,sy,xx,yy,xy,m,yo,r,p1,p2,lp1,lp2,e1,e2,b,E:real;

 x:array[1..7] of real;

 y:array[1..7] of real;

begin

 write('k:=');

 readln(k);

 writeln('first massive');

 for i:=1 to k do

 read (x[i]);

 write ('k:=');

 readln (k);

 writeln ('second massive');

 for i:=1 to k do

 read (y[i]);

 write('lp1:=');

 readln(lp1);

 write('lp2:=');

 readln(lp2);

 write('p1:=');

 readln(p1);

 write('p2:=');

 readln(p2);

 write('b:=');

 readln(b);

 sx:=0;sy:=0;xx:=0;yy:=0;xy:=0;

 for i:=1 to k do

```

sx:=sx+x[i];
for i:=1 to k do
sy:=sy+y[i];
for i:=1 to k do
xx:=xx+x[i]*x[i];
for i:=1 to k do
yy:=yy+y[i]*y[i];
for i:=1 to k do
xy:=xy+x[i]*y[i];
m:=(k*xy-sy*sx)/(k*xx-sx*sx);
yo:=(sy-m*sx)/k;
r:=(k*xy-sx*sy)/
(sqrt(k*xx-sx*sx)*sqrt(k*yy-sy*sy));
e1:=yo+m*lp1;
e2:=yo+m*lp2;
E:=(p2-p1)*b/(e2-e1);
writeln ('m=',m);
writeln ('yo=',yo);
writeln ('r=',r);
writeln ('E=',E);
end.

```

Примечания к программе.

1 Компрессионная зависимость относительной деформации образца грунта ε от нормального напряжения σ представлена в виде [4]

$$\varepsilon = a_0 + a_1 \cdot \ln \sigma, \quad (3.30)$$

где $a_0 - (y_0)$ и $a_1 - (m)$ - параметры линеаризованной компрессионной кривой.

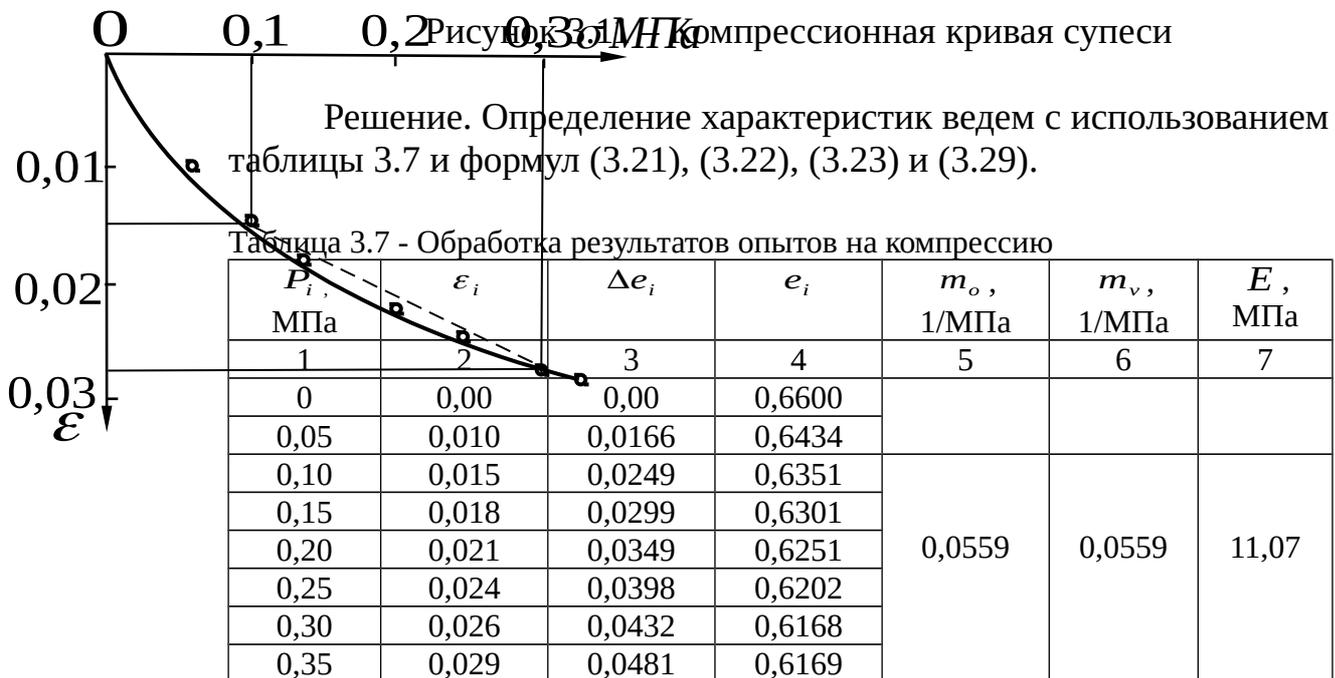
2 Определение характеристики сжимаемости грунта производится по формуле (3.29).

3 Входными параметрами являются: значения нормальных напряжений $\sigma - (x)$, относительной деформации $\varepsilon - (y)$, границы расчетного интервала давлений p_1 и p_2 , их логарифмы $\ln(p_1) - (lp_1)$ и $\ln(p_2) - (lp_2)$, коэффициент $\beta - (b)$.

4 Выходными характеристиками являются: параметры $a_0 - (y_0)$, $a_1 - (m)$, модуль деформации E и коэффициент корреляции r .

Меры безопасности. Не допускается подвергать прибор резким толчкам и ударам. Приложение нагрузки на рычажную систему производить плавно. Укладку грузов на рычажную систему производить с перевязкой.

Пример определения компрессионного модуля деформации грунта. Результаты компрессионных испытаний представлены на рисунке 3.11. Требуется определить компрессионный модуль деформации в интервале 0,1...0,3 МПа.



Определяем характеристики сжимаемости грунта:

а) коэффициент сжимаемости

$$m_o = (0,6351 - 0,6169) / (0,35 - 0,10) = 0,0928 \text{ 1/МПа};$$

б) коэффициент относительной сжимаемости

$$m_v = 0,0928 / (1 + 0,66) = 0,0559 \text{ 1/МПа};$$

в) модуль деформации по зависимости (3.23)

$$E = (1 + 0,66) * 0,62 / 0,0928 = 11,09 \text{ МПа};$$

г) модуль деформации по зависимости (3.29)

$$E = (0,35 - 0,10) * 0,62 / (0,029 - 0,015) = 11,07 \text{ МПа}.$$

Контрольные вопросы

1. Чем обусловлена сжимаемость грунтов?
2. Какова цель компрессионных испытаний грунта?
3. Какой процесс описывает компрессионная кривая?
4. Что понимается под коэффициентом сжимаемости и коэффициентом относительной сжимаемости?
5. Что понимается под модулем деформации грунта?
6. Как записывается закон уплотнения грунтов?
7. Как записывается уравнение компрессионной кривой?
8. Для решения каких задач используются коэффициент сжимаемости и модуль деформации грунта?

3.5 Оценка параметров развития деформаций глинистых грунтов во времени

Цель работы: освоить методику определения параметров затухающей ползучести глинистых грунтов.

Общие положения. Результаты опытов по испытанию глинистых грунтов показывают, что характеристики их механических свойств существенно зависят от времени действия нагрузки. Так, при длительном действии постоянной нагрузки наблюдается нарастание деформаций глинистого грунта во времени, называемое ползучестью.

Вопросы исследования механических свойств грунтов с учётом фактора времени относятся к проблеме реологии в механике грунтов. Результаты многочисленных экспериментально-теоретических исследований развития реологических процессов в грунтах подробно изложены в учебнике Н.А. Цытовича [9], а также в учебных пособиях

С.С. Вялова [11], Ю.К. Зарецкого [12], Е.А. Исаханова, Т.С. Мусаева [15] и др.

Как показывает практика, для надёжного определения параметров реологических свойств грунтов требуется проведение, как правило, весьма длительных экспериментов: дни, месяцы, годы. Поэтому при исследовании реологических процессов в грунтах возникает необходимость использования и разработки определённых методологических приёмов, направленных на достижение учебных целей в сокращённые сроки испытаний. Для этого можно использовать, например, приём условного разделения кривой ползучести грунта на ряд характерных интервалов изменения скорости деформации во времени и специального подбора аналитических функций, описывающих данный процесс.

Для достижения цели лабораторной работы используются следующие положения и предпосылки теории ползучести грунтов.

1 Общую деформацию грунта в любой момент времени – $\varepsilon(t)$ от действия постоянной нагрузки будем считать состоящей из условно-мгновенной деформации – ε_0 и деформации, развивающейся во времени ε_t , т.е.

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon_t. \quad (3.31)$$

Условно-мгновенная деформация ε_0 соответствует небольшому сроку времени t_0 , несколько превышающему срок загрузки образца.

2 Для аналитического описания процесса деформирования грунта во времени используется аппарат теории наследственной ползучести. Согласно этой теории зависимость между напряжением, деформацией и временем записывается в виде [11]

$$\varphi(\varepsilon) = \sigma(t) + \int_0^t K(t - \tau) \cdot \sigma(\tau) d\tau, \quad (3.32)$$

а для случая линейной зависимости между напряжениями и деформациями

$$\varepsilon = \frac{1}{E_0} \left[\sigma(t) + \int_0^t K(t - \tau) \cdot \sigma(\tau) d\tau \right], \quad (3.33)$$

где $K(t - \tau)$ - ядро ползучести;

τ и t - время, соответственно приложения нагрузки и фиксации деформации;

E_0 - условно-мгновенный модуль деформации.

При $\sigma = const$ выражение (3.33) принимает вид

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_0} \left[1 + \int_0^t K(t - \tau) d\tau \right]. \quad (3.34)$$

Из уравнения (3.32) следует, что ядро ползучести $K(t - \tau)$ характеризует скорость измерения деформации во времени при единичной нагрузке. Очевидно, что при $t = 0$ $K(t - \tau) = \infty$, а при $t \rightarrow \infty$ $K(t - \tau)$ стремится к некоторой постоянной величине.

Таким образом, первое слагаемое уравнений (3.32)...(3.34) определяет условно-мгновенную деформацию, а второе – ее развитие во времени.

3 Ядро ползучести в уравнениях (3.32)...(3.34) принимается в виде

$$K(t - \tau) = E_0 \cdot \lambda \cdot \theta \cdot \exp[-\lambda(t - \tau)] + \frac{(E_0 / E_\infty - E_0 \cdot \theta - 1) \cdot T}{[T + (t - \tau)]^2}, \quad (3.35)$$

где λ , θ , T , E_∞ - параметры ползучести грунта;

E_0 - модуль условно-мгновенной деформации грунта.

Ядро ползучести типа (3.35) было предложено В.Л. Кубецким [26]. Применение данного ядра к описанию ползучести грунтов при различных напряженных состояниях приведено в работе [27].

С учетом (3.35) осадка грунта во времени в компрессионном приборе - $S_{k(t)}$ при заданной постоянной ступени нагрузки представляется в виде

$$S_{k(t)} = S_{k_0} \left[1 + E_{k_0} \cdot \theta_k \cdot (1 - e^{-\lambda_k t}) + \left(\frac{E_{k_0}}{E_{k_\infty}} - E_{k_0} \cdot \theta_k - 1 \right) \cdot \frac{t}{T_k + t} \right], \quad (3.36)$$

где S_{k_0} - условно-мгновенная деформация сжатия грунта;

E_{k_0} - условно-мгновенный модуль компрессионного сжатия грунта;

θ_k , λ_k , T_k , E_{k_∞} - параметры компрессионной ползучести грунта.

Зависимость (3.36) обладает следующими особенностями. Параметры ползучести θ_k и λ_k подбираются таким образом, чтобы

влиянием на скорость развития деформаций в начальные моменты времени члена, включающего параметр T_k в выражении (3.36), можно было пренебречь. Параметры ползучести T_k и $E_{k\infty}$ определяются для участка экспериментальной зависимости $S_k(t)$, достаточно удаленного от момента приложения ступени нагрузки.

Изложенные выше особенности конструирования ядра ползучести (3.35) позволяют разбить общее время испытаний образца на два характерных интервала.

Первый интервал времени от $t = t_0 = 0$ и до $t = t_1 = 0,5 - 3$ часа, в зависимости от исследуемого типа и разновидности грунта. Здесь зависимость $S_{k(t)}$ можно представить в виде

$$S_k(t) = S_{k0} \left[1 + E_{k0} \cdot \theta_k (1 - e^{-\lambda_k t}) \right]. \quad (3.37)$$

Данная зависимость характеризует аппроксимацию опытной кривой ползучести ядром $K(t - \tau)$ экспоненциального типа. Этот интервал времени принимается для учебных целей в качестве основы для определения параметров ползучести грунта. Второй интервал времени - от t_1 до условной стабилизации деформации ползучести. Здесь зависимость $S_k(t)$ представляется в виде

$$S_k(t) = S_{k0} \left[\frac{E_{k0}}{E_{k\infty}} - E_{k0} \cdot \theta_k - 1 \right] \frac{t}{T_k + t}. \quad (3.38)$$

Эта зависимость определяет ядро ползучести $K(t - \tau)$, предложенное Ю.К.Зарецким.

Определение параметров ползучести T_k и $E_{k\infty}$ требует проведения уже весьма длительных испытаний грунта и поэтому может быть отнесено к разделам учебно-исследовательской и научно-исследовательской работы студентов.

Задание. Определить параметры ползучести заданного глинистого грунта на начальном интервале развития деформаций во времени.

Оборудование и приборы. Для проведения испытаний используются: компрессионный прибор; индикаторы часового типа с точностью 0,01 мм или 0,001 мм; часы с секундной стрелкой.

Подготовка к испытанию. Для проведения испытаний необходимо подготовить образец глинистого грунта нарушенной структуры в соответствии с указаниями 1.2. Остальные

подготовительные работы аналогичны компрессионным испытаниям, описанным в 3.4.

Проведение испытания. Испытанию подлежит образец глинистого грунта нарушенной структуры при заданном значении уплотняющего давления. Проведение испытания осуществляется в следующей последовательности.

1 Записать в журнал начальные показания индикаторов (по черной шкале).

2 К образцу грунта через рычажную систему приложить заданную ступень нормального давления и включить секундомер.

3 Записать в журнал испытаний (таблица 3.8) отсчеты по индикаторам в следующей последовательности: первый - сразу после приложения нагрузки, затем через 2; 10; 15; 30; 60; до 120 минут после приложения нагрузки.

4 После окончания испытания нагрузка снимается и одомер разбирается. Рабочее кольцо с грунтом взвешивается.

Таблица 3.8 – Журнал испытания ползучести грунта

Время t , час, мин.	Вес груза на подвеске рычага прибора N_i , Н	Среднее давление на образец P_i , МПа	Показание индикатора, мм	Осадка образца $S_{k,t}$, мм

Обработка результатов

1 По данным таблицы 3.8 строится компрессионная кривая ползучести $S_k = f(t)$.

2 С использованием формулы (3.29) определяется условно-мгновенный компрессионный модуль деформации грунта E_{k0} .

3 Для всех экспериментальных точек зависимости $S_{ki} = f(t_i)$ определяются значения скорости деформации ползучести $S_i(t) = \Delta S_k / \Delta t_i$, где ΔS_k – приращение осадки грунта за период времени Δt_i .

4 Определяются величины $Z_i = S_i^0(t) / \Delta S_k$, где $\Delta S_k = S_{t=0.5...3\text{час}} - S_0$. Здесь S_0 – условно-мгновенная осадка грунта; $S_{t=0.5...3\text{час}}$ – осадка грунта за расчетный период времени $t_1 = 0.5...3.0$ час. Строится график зависимости $Z_i = f(t_i)$.

5 Параметр θ_k определяется по формуле

$$\theta_k = \Delta S_k / S_0 \cdot E_{k0} . \quad (3.39)$$

6 Параметр λ_k определяется как тангенс угла наклона зависимости $Z_i = f(t_i)$ к оси абсцисс. В общем случае параметр λ_k может быть определен с использованием метода наименьших квадратов по зависимости

$$\lambda_k = \frac{1}{\Delta} \left[n \sum_{i=1}^n Z_i \cdot t_i - \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n Z_i \right], \quad (3.40)$$

$$\text{где } \Delta = n \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left[\sum_{i=1}^n t_i \right]^2.$$

Определение характеристик ползучести на ПЭВМ.

Определение параметров ползучести грунта можно выполнить также по следующей компьютерной программе "RHEOLOG", написанной на языке Турбо-Паскаль.

program RHEOLOG;

```

var k,i:integer;
    sx,sy,xx,yy,xy,m,r,ds,so,E,Q:real;
    x:array[1..6] of real;
    y:array[1..6] of real;
begin
write('k:=');
readln(k);
writeln('first massive');
for i:=1 to k do
read (x[i]);
write ('k:=');
readln(k);
writeln ('second massive');
for i:=1 to k do
read (y[i]);
write('ds:=');
readln(ds);
write('so:=');
readln(so);
write('E:=');
readln(E);
sx:=0; sy:=0; xx:=0; yy:=0; xy:=0;
for i:=1 to k do

```

```

sx:=sx+x[i];
for i:=1 to k do
sy:=sy+y[i];
for i:=1 to k do
xx:=xx+x[i]*x[i];
for i:=1 to k do
yy:=yy+y[i]*y[i];
for i:=1 to k do
xy:=xy+x[i]*y[i];
m:=(k*xy-sy*sx)/(k*xx-sx*sx);
r:=(k*xy-sx*sy)/
(sqrt(k*xx-sx*sx)*sqrt(k*yy-sy*sy));
Q:=ds/(so*E);
writeln ('m=',m);
writeln ('r=',r);
writeln ('Q=',Q);
end.

```

Примечания к программе.

1 Определение характеристик ползучести грунта производится по формулам (3.39) и (3.40).

2 Входными параметрами являются: значения времени t - (x), логарифм относительной скорости деформации ползучести $\ln Z$ - (y), компрессионный модуль деформации E_{k0} - (E), начальная осадка S_0 - (SO), разность осадок ΔS_k - (dS).

3 Выходными характеристиками являются: параметры λ_k - (m), θ_k - (Q) и коэффициент парной корреляции r - (r).

Меры безопасности. Приложение нагрузки на рычажную систему производить плавно. Укладку грузов на рычажную систему производить с перевязкой.

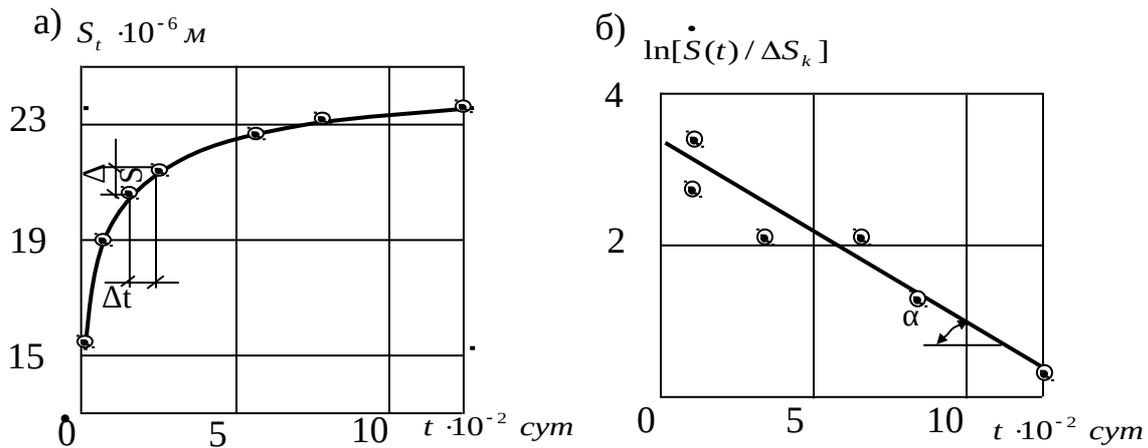
Пример определения параметров ползучести. В таблице 3.9 приведены результаты испытания глинистого грунта на ползучесть. Начальный компрессионный модуль сжатия грунта $E_{k0} = 14.7 \text{ МПа}$. Определение параметров ползучести ведем в табличной форме (таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Определение параметров ползучести грунта θ_k и λ_k

Время $t \times 10^2$, сут	0	1,04	2,08	4,16	6,25	8,32	12,5
$S_t \times 10^{-6}$, м	15,4	18,7	19,9	21,2	22,7	23,2	23,6
$DS \times 10^{-6}$, м	-	3,3	1,2	1,3	1,5	0,50	
$Dt \times 10^{-2}$, сут	-	1,04	1,04	2,08	2,08	2,08	4,18

$\dot{S}(t) = \frac{\Delta S}{\Delta t} 10^{-3},$ м/сут	-	3,17	1,15	0,620	0,72	0,24	0,10
$DS_k = (S_{t=1\text{час}} - S_0) 10^{-6}, \text{ М}$	-	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
$\dot{S}(t) / \Delta S_k$	-	38,69	14,07	7,62	8,7	2,93	1,17
$\text{Ln}(S(t) / \Delta S_k)$	-	3,65	2,64	2,03	2,17	1,07	0,16

Результаты графических построений приведены на рисунке 3.12.



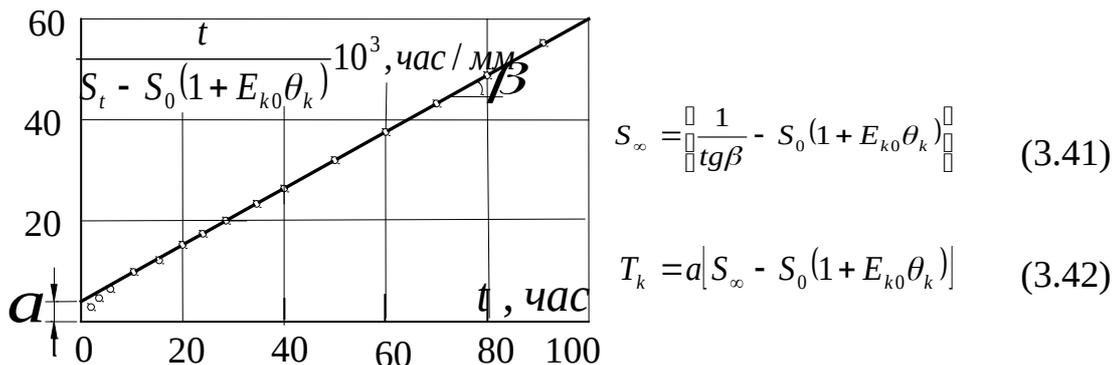
а) – кривая ползучести; б) – определение параметров θ_k и λ_k

Рисунок 3.12 – Графики изменения деформации грунта во времени

$$\lambda_k = tq\alpha = 29 \text{ сут}^{-1};$$

$$\theta_k = \frac{S_{t=3\text{час}} - S_0}{S_0 E_k} = \frac{(23,6 - 15,4) 10^{-6}}{15,4 \cdot 10^{-6} \cdot 14,7} = 0,0362 \text{ 1/МПа.}$$

Методика определения параметра T_k основана на представлении компрессионной кривой ползучести в координатах $t - t/Z_2$. Здесь $Z_2 = S_t - S_0(1 + E_{k0}\theta_k)$. Элементы данной методики определения параметра T_k приведены на рисунке 3.13.



$$S_\infty = \left[\frac{1}{tg\beta} - S_0(1 + E_{k0}\theta_k) \right] \quad (3.41)$$

$$T_k = a [S_\infty - S_0(1 + E_{k0}\theta_k)] \quad (3.42)$$

Рисунок 3.13 – Определение параметра ползучести T_k

Контрольные вопросы

1. Что называется ползучестью грунта?
2. Какими ядрами ползучести описывается развитие деформаций грунта во времени?
3. Методика определения параметров ползучести грунтов?

3.6 Определение механических характеристик грунтов методом трёхосного сжатия

Цель работы: изучить методику определения механических характеристик грунтов в условиях трехосного осесимметричного сжатия.

Общие положения. Принципиальная схема данного испытания приведена на рисунке 3.1г. Образец грунта, помещенный в резиновую оболочку стабилометра, подвергается вначале всестороннему сжатию. Всестороннее давление на грунт $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ создается жидкостью, заполняющей камеру прибора. Затем к образцу прикладывается вертикальное давление σ_1 - вертикальной нагрузкой, которая передается на образец через верхний штамп прибора. Образец грунта доводится до разрушения путем увеличения вертикального давления при постоянном боковом давлении $\sigma_2 = \sigma_3 = const$ (схема раздавливания).

Возможно также проведение испытаний при обеспечении постоянства среднего напряжения в образце грунта, т.е. $\sigma_m = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3 = const$.

В опытах реализуется сложное напряженное состояние. Тогда основные характеристики напряженно-деформированного состояния с использованием формул (3.1)...(3.7) для наиболее распространенной в практике схемы испытания на раздавливание при постоянном боковом давлении будут определяться следующими зависимостями:

$$\sigma_m = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3, \tau_i = \sqrt{3}(\sigma_1 - \sigma_3)/3, \mu_\sigma = -1; \quad (3.43)$$

$$\varepsilon_m = (\varepsilon_1 + 2\varepsilon_3)/3, \varepsilon_v = 3\varepsilon_m = \varepsilon_1 + 2\varepsilon_3, \gamma_i = 2|\varepsilon_1 - \varepsilon_3|/\sqrt{3}, \mu_\varepsilon = -1. \quad (3.44)$$

В соответствии с ГОСТ 12248-96 [3, с. 14] испытания проводятся на образцах грунта диаметром не менее 38 мм с

отношением диаметра (D) к высоте (H) от 1:2 до 1:2,5, в зависимости от конструкции установки. По нормам Великобритании – BS 1377:8-8 и США – ASTM D2850, D4767 [22, с. 34] испытываются образцы грунта диаметром $\approx 38...100$ мм с высотой $H \approx D...2D$. В нормах Японии JGS 0523-2000 [23, с. 58] предусмотрено испытание образцов грунта диаметром $D > 35...100$ мм с высотой $H = 2...2,5D$.

На рисунке 3.14 приведены характерные графики деформирования грунтов в трехосном испытании по схеме раздавливания.

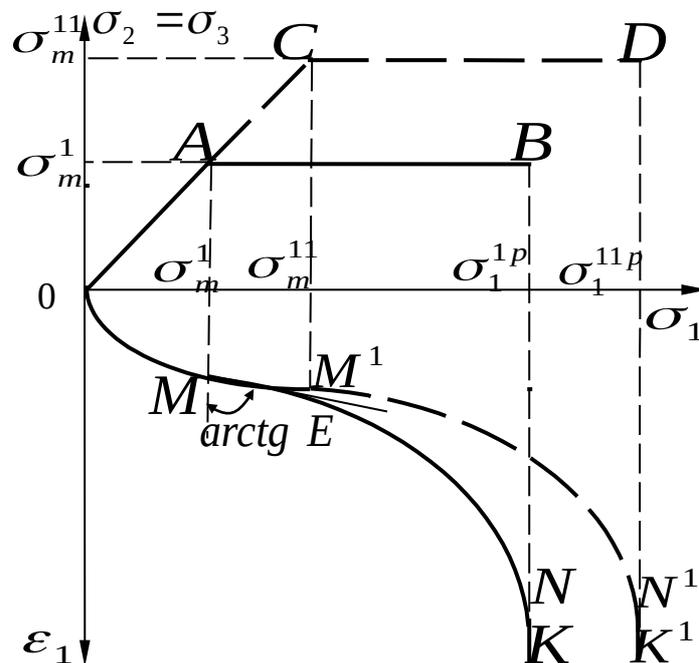


Рисунок 3.14 – Деформирование грунтов при трехосном сжатии

Участок OM (OM^1) характеризует сжимаемость грунта при всестороннем обжатии образца, т.е. $\varepsilon_1 = f(\sigma_m)$, в общем случае $\varepsilon_v = f(\sigma_m)$. На участке MN (M^1N^1) сжимаемость грунта обусловлена как нормальными, так и касательными напряжениями. При увеличении σ_1 наблюдается все более интенсивное развитие

продольных деформаций ε_1 . На участке НК (N^1K^1), несущая способность образца исчерпана и происходит течение грунта.

На основе многочисленных экспериментальных данных к настоящему времени сформировались следующие основные представления о деформируемости грунтов (без учета фактора времени) при их нагружении [15, с. 99], [16, с. 39].

1 Деформация сдвига (формоизменения) γ_i является преимущественно пластической (остаточной) и нелинейно зависит от касательных напряжений τ_i . На характер данной зависимости существенно влияет среднее напряжение σ_m , а также, нередко, вид напряженного состояния μ_σ и траектория нагружения (последовательность изменения напряжений при испытании грунта), т.е. $\gamma_i = \gamma_i(\tau_i, \sigma_m, \mu_\sigma)$.

В практических расчетах грунтовых оснований, в особенности при малых скоростях приложения нагрузки, влияние μ_σ считается незначительным, т.е. принимается $\gamma_i = \gamma_i(\tau_i, \sigma_m)$.

2 Объемная деформация грунта в большей своей части является пластической и зависит не только от среднего давления, но и существенно от интенсивности касательных напряжений и, в некоторой степени, вида напряженного состояния и траектории нагружения, т.е. $\varepsilon_m = \varepsilon_m(\sigma_m, \tau_i, \mu_\sigma)$. В расчетах оснований часто принимается $\varepsilon_m = \varepsilon_m(\sigma_m, \tau_i)$.

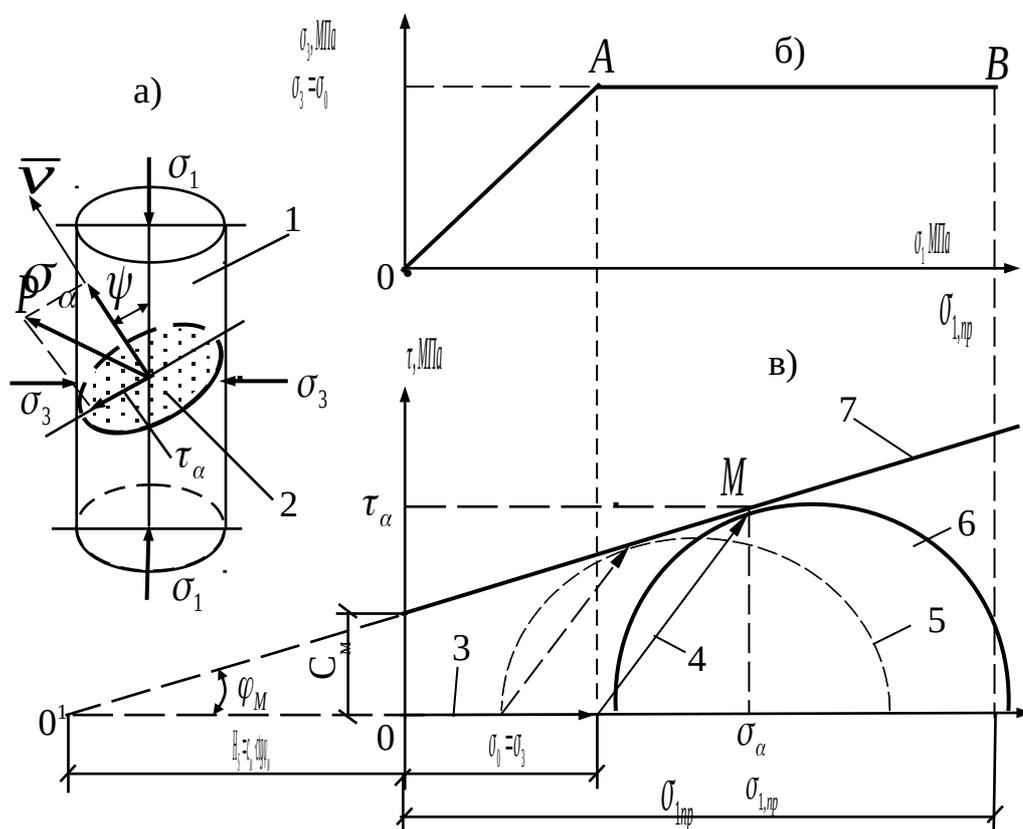
3 При простом нагружении, с достаточно высокой точностью, соблюдается подобие напряженного и деформированного состояний, т.е. $\mu_\sigma = \mu_\varepsilon$. Степень влияния сложности траекторий нагружения на деформации ε_m и γ_i зависит от вида грунта, действующих напряжений и др. Подробно эти вопросы рассматриваются в [11], [12], [16] и др.

Для определения характеристик прочности грунтов, обычно, используется теория Кулона – Мора. Условие прочности по этой теории записывается в виде

$$\sin \varphi_m = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c_m \cdot \operatorname{ctg} \varphi_m}, \quad (3.45)$$

где c_m, φ_m - параметры прочности грунта.

Построение огибающей предельных кругов Мора и ориентация площадки разрушения при испытаниях приведены на рисунке 3.13.



1 – образец грунта; 2 – площадка разрушения; 3,4 – траектории нагружения; 5,6 – предельные круги Мора; 7 – огибающая; а) – напряженное состояние на площадке разрушения; б) – траектория изменения главных напряжений; в) – график зависимости $\tau = f(\sigma)$.

Рисунок 3.13 – Построение огибающей кругов Мора

В соответствии с теорией Кулона – Мора нормаль ν к площадке разрушения (рисунок 3.13а) составляет с направлением наибольшего главного напряжения σ_1 угол $\psi = \pm(\pi/4 - \varphi_M/2)$. При этом сама площадка разрушения проходит через ось σ_2 .

Для интерпретации опытов, на практике, используется также теория Мизеса – Боткина. Здесь считается, что разрушение происходит на октаэдрической площадке, равнонаклоненной к осям главных напряжений. Используя известную связь [16, с. 22] характеристики прочности грунта по данной теории можно выразить через параметры Кулона – Мора

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{окт}} = \sqrt{2} \sqrt{3 + \mu_\sigma^2} \sin \varphi_M / (3 + \mu_\sigma \sin \varphi_M), \quad (3.46)$$

$$c_{\text{окт}} \operatorname{ctg} \varphi_{\text{окт}} = c_M \operatorname{ctg} \varphi_M.$$

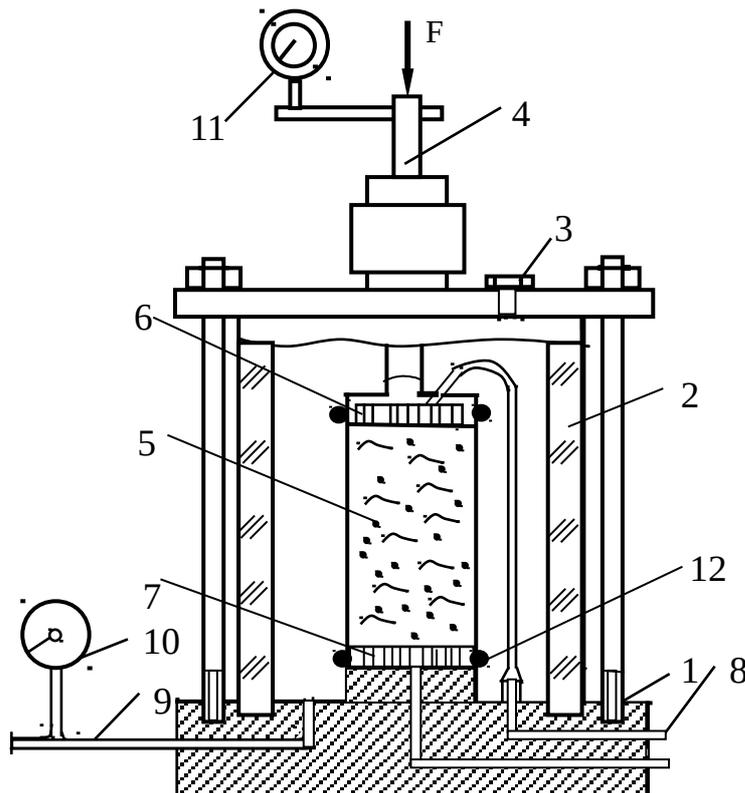
(3.47)

Задание

1 Изучить оборудование для определения механических свойств грунтов методом трёхосного осесимметричного сжатия.

2 Определить параметры прочности и деформируемости заданного грунта по результатам его трёхосного сжатия.

Оборудование и приборы. Принципиальная схема стабилометра [3, с. 66] приведена на рисунке 3.14.



1 – основание камеры; 2 – корпус камеры; 3 – вентиль для выпуска воздуха; 4 – шток; 5 – образец грунта в оболочке; 6 – верхний штамп; 7 – нижний штамп; 8 – трубки для дренирования и измерения давления в поровой жидкости; 9 – трубка для заполнения камеры и измерения давления в камере; 10 – манометр; 11 – индикатор; 12 – уплотнитель.

Рисунок 3.14 – Принципиальная схема стабилометра

В состав установки для трёхосного сжатия по ГОСТ 12248-96 [3, с. 15] должны входить: камера трёхосного сжатия; устройство для создания, поддержания и измерения давления в камере; механизм для вертикального нагружения образца; устройства для измерения вертикальных и объёмных деформаций образца; устройство для измерения давления в поровой жидкости; расширитель для заключения образца в резиновую оболочку; резиновые оболочки толщиной не более 0,25 мм.

Подготовка к испытанию

1 Изготавливается образец глинистого грунта принятых размеров.

2 Определяются физические характеристики грунта. Результаты заносятся в журнал.

3 Образец помещается в резиновую оболочку и устанавливается в рабочую камеру прибора.

4 Заряженную образцом грунта камеру устанавливают на специальную подставку и заполняют водой. На поршень камеры крепится рамка для создания вертикального давления и индикатор, показание которого устанавливают на нуль.

Проведение испытания

1 Образец грунта уплотняется всесторонним давлением в камере $\sigma_3 = \sigma_0 = 0,05 \dots 0,5$ МПа, в зависимости от типа грунта и программы испытания. Процесс уплотнения осуществляется ступенями от 0,025 до 0,1 МПа, также в зависимости от типа грунта и программы проведения опыта. На каждой ступени всестороннего сжатия по прибору фиксируются и заносятся в журнал объёмные деформации образца грунта.

2 На втором этапе опыта осуществляется ступенчатое увеличение вертикальной нагрузки вплоть до разрушения образца

грунта. Величина ступени принимается равной 10% от заданного всестороннего давления в камере σ_3 . Величина σ_3 поддерживается постоянной в течение всего опыта. В процессе опыта фиксируются: вертикальная нагрузка; вертикальные и объемные деформации образца грунта (таблица 3.10).

3 Каждая ступень нагружения выдерживается до условной стабилизации вертикальной деформации образца грунта. За критерий принимается приращение относительной вертикальной деформации, не превышающее 0,0001 за 1 мин. В учебных целях этот критерий может быть уменьшен.

4 Испытание считается законченным, если произошел сдвиг одной части образца относительно другой по наклонной площадке или образовалась «бочка», и при этом величина продольной деформации составляет 15% от первоначальной высоты образца.

Таблица 3.10 – Журнал трехосного испытания грунта

Давление в камере σ_3 МПа,	Вертикальная нагрузка		Вертикальные деформации		Объемные деформации		Вертикальное напряжение σ_1 , МПа
	Нагрузка на рычаг F , кН	Давление P_i , МПа	Показания по прибору, мм	Относительная деформация ε_1	Показанная волюмометра, см	Относительная деформация ε_v	

Для построения огибающей предельных кругов необходимо провести не менее трех испытаний образцов грунта на осесимметричное сжатие при различных значениях всестороннего обжатия σ_0 . В учебных целях можно ограничиться одним опытом для сыпучего грунта и двумя опытами – для глинистого грунта.

Обработка результатов

1 Для каждой ступени нагрузки определяется вертикальное давление σ_{1i} по формуле

$$\sigma_{1i} = \frac{F}{A} + \sigma_3 \left(1 - \frac{A_c}{A}\right),$$

(3.48)

где A - площадь образца, м²;

F - вертикальная нагрузка, кН;

σ_3 - всестороннее давление в камере, МПа;

A_c - площадь поперечного сечения штока, м².

2 Для каждой ступени нагрузки определяется дополнительное давление U_i по формуле

$$U_i = \sigma_{1i} - \sigma_3. \quad (3.49)$$

3 Определяются относительные вертикальные деформации образца ε_{1i} по формуле

$$\varepsilon_{1i} = \frac{\Delta h_i}{h}, \quad (3.50)$$

где Δh_i - вертикальная деформация образца, мм;
 h - первоначальная высота образца, мм.

4 Определяется относительная объемная деформация образца грунта ε_v по формуле

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V}, \quad (3.51)$$

где ΔV - абсолютная объемная деформация образца грунта, см³;
 V - первоначальный объем образца грунта, см³.

5 Строится зависимость $\varepsilon_{1i} = f(U_i)$ для каждого образца грунта. На графике определяют значения $U = (\sigma_1 - \sigma_3)^p$, соответствующие моменту разрушения образца грунта (точка перегиба графика) или относительной вертикальной деформации образца $\varepsilon_1 = 0,15$.

6 Если относительная вертикальная деформация ε_1 превышает 0,03, то необходимо учесть изменение площади образца грунта в процессе испытания. В этом случае площадь A_i для дренированного испытания определяется по формуле

$$A_i = A \cdot \frac{1 - \varepsilon_v}{1 - \varepsilon_1}. \quad (3.52)$$

Определение характеристик деформируемости грунтов. Для линейных участков зависимостей $\varepsilon_1 = f(\sigma_1)$ и $\varepsilon_v = f(\sigma_1)$ определяются модуль деформации E и коэффициент поперечной деформации ν

$$E = \Delta \sigma_1 / \Delta \varepsilon_1, \quad (3.53)$$

$$\nu = - \Delta \varepsilon_3 / \Delta \varepsilon_1, \quad (3.54)$$

где $\Delta\sigma_1$ - приращение напряжений σ_1 в заданном диапазоне;
 $\Delta\varepsilon_1$ и $\Delta\varepsilon_3$ - приращение относительных вертикальной и поперечной деформаций образца, $\Delta\varepsilon_3 = (\Delta\varepsilon_v - \Delta\varepsilon_1)/2$,
 $\Delta\varepsilon_v$ - приращение относительной объемной деформации образца грунта.

Значения переменных модуля сдвига G_k и модуля объемной деформации K_k , соответствующие различным значениям \mathcal{U}_i , вычисляются по формулам

$$G_k = \tau_{i,k} / \mathcal{U}_{ik}, \quad (3.55)$$

$$K_k = \sigma_{m,k} / \varepsilon_{v,k}, \quad (3.56)$$

где $\tau_{i,k}, \mathcal{U}_{i,k}, \sigma_{m,k}, \varepsilon_{v,k}$ - компоненты напряжений и деформаций, определяемые по формулам (3.43) и (3.44).

Определение характеристик прочности грунтов. Для каждого образца строится предельный круг напряжений (круг Мора) на диаметре, равном разности главных напряжений $(\sigma_1 - \sigma_3)^p$. Проводят касательную к ним линию, которая характеризует сопротивление сдвигу данного грунта. При статистической обработке испытаний параметры прочности могут быть определены методом наименьших квадратов.

Частные значения угла внутреннего трения $tg\varphi_i$ и сцепления C_i грунтов определяются по формулам [4, с. 11]

$$tg\varphi_j = \frac{N_j - 1}{2\sqrt{N_j}}, \quad (3.57)$$

$$C_j = \frac{M_j}{2\sqrt{N_j}}. \quad (3.58)$$

Величины N_j и M_j в формулах (3.57) и (3.58) определяются по зависимостям (3.11) и (3.12) с заменой в них $tg\varphi_j, C_j, \tau_i, \sigma_i$ на $N_j, M_j, \sigma_{1,i}, \sigma_{3,i}$. По формулам (3.46) и (3.47) можно определить параметры прочности грунта по теории Мизеса – Боткина.

Определение параметров прочности грунта на ПЭВМ. При количестве опытов на трехосное сжатие три и более определение параметров прочности грунта можно выполнить по следующей компьютерной программе "TRIAxIAL", написанной на языке Турбо-Паскаль.

```

program TRIAXIAL;
var k,i:integer;
    sx,sy,xx,yy,xy,z,yo,m,n,r:real;
    x:array[1..3] of real;
    y:array[1..3] of real;
begin
write('k:=');
readln(k);
writeln('first massive');
for i:=1 to k do
read (x[i]);
write ('k:=');
readln (k);
writeln ('second massive');
for i:=1 to k do
read (y[i]);
sx:=0; sy:=0; xx:=0; yy:=0; xy:=0;
for i:=1 to k do
sx:=sx+x[i];
for i:=1 to k do
sy:=sy+y[i];
for i:=1 to k do
xx:=xx+x[i]*x[i];
for i:=1 to k do
yy:=yy+y[i]*y[i];
for i:=1 to k do
xy:=xy+x[i]*y[i];
n:=(k*xy-sy*sx)/(k*xx-sx*sx);
m:=(sy-n*sx)/k;
r:=(k*xy-sx*sy)/
(sqrt(k*xx-sx*sx)*sqrt(k*yy-sy*sy));
z:=(n-1)/(2*sqrt(n));
yo:=m/(2*sqrt(n));
writeln ('m=',m);
writeln ('n=',n);
writeln ('z=',z);
writeln ('yo=',yo);
writeln ('r=',r);
end.

```

Примечания к программе.

1 Определение параметров прочности производится по формулам (3.57) и (3.58).

2 Входными параметрами являются: значения главных напряжений $\sigma_{3,i}$ - (x) и $\sigma_{1,i}$ - (y).

3 Выходными характеристиками являются: параметры M - (m), N - (n), сцепление C - (y_0) , $tg\varphi$ - (z) и коэффициент парной корреляции r - (r), устанавливающий степень тесноты связи между x и y.

Меры безопасности. При проведении испытаний следует соблюдать осторожность при механическом нагружении образца грунта вертикальной нагрузкой. Не допускается использование установок с дефектами камеры и повреждений в трубках для заполнения камеры жидкостью.

Пример определения параметров прочности грунта. При испытании трех образцов глинистого грунта в стабилометре получены следующие результаты:

при обжатии $\sigma'_0 = \sigma'_3 = 0,05$ МПа, величина σ'_1 составила 0,25МПа;

при $\sigma''_0 = \sigma''_3 = 0,15$ МПа ... $\sigma''_1 = 0,44$ МПа ;

при $\sigma'''_0 = \sigma'''_3 = 0,20$ МПа ... $\sigma'''_1 = 0,56$ МПа .

Определить параметры прочности грунта методом наименьших квадратов.

Решение.

1 Наносим опытные точки на график $\sigma_1^p = f(\sigma_3^p)$ (рисунок 3.15).

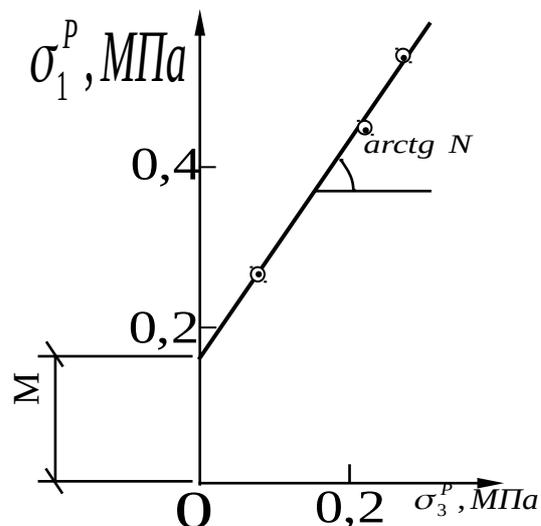


Рисунок 3.15 – График зависимости $\sigma_1^p = f(\sigma_3^p)$

По формулам (3.11) и (3.12) определяем параметры N и M

$$N = \frac{3(0,05 \cdot 0,25 + 0,15 \cdot 0,44 + 0,20 \cdot 0,56) - (0,25 + 0,44 + 0,56) \cdot (0,05 + 0,15 + 0,20)}{3(0,05^2 + 0,15^2 + 0,20^2) - (0,05 + 0,15 + 0,20)^2} = 2,043$$

$$M = \frac{1}{3}[(0,25 + 0,44 + 0,56) - 2,043(0,05 + 0,15 + 0,20)] = 0,1443 \text{ МПа} .$$

2 По формулам (3.57) и (3.58) определяем параметры прочности грунта

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2,043 - 1}{2\sqrt{2,043}} = 0,3648, \text{ угол } \varphi = 20,04^\circ ,$$

$$C = \frac{0,1443}{2\sqrt{2,043}} = 0,05 \text{ МПа} .$$

Контрольные вопросы

1. Как обеспечивается всестороннее сжатие грунта в стабилометре?
2. Какие характеристики грунта можно определить испытанием в стабилометре?
3. Как производится испытание грунта в стабилометре?
4. Какие существуют схемы разрушения грунта в стабилометре?
5. Какие существуют системы испытания в стабилометре?
6. Как и для чего строятся круги Мора?
7. Как определяются прочностные характеристики грунта по результатам испытания в стабилометре?

3.7 Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов

Цель работы: изучить методику экспериментального определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов прибором КФ-00М.

Общие положения. Под водопроницаемостью грунтов понимают способность их пропускать через свои поры воду. Скорость движения воды в грунтах описывается законом Дарси

$$V = K_\phi \cdot I , \quad (3.37)$$

где V - скорость движения воды, см/с;
 I - гидравлический градиент напора;
 K_{ϕ} - коэффициент фильтрации грунта, см/с.

Таким образом, численно водонепроницаемость грунта характеризуется величиной коэффициента фильтрации K_{ϕ} , представляющего собой скорость движения воды при градиенте напора $I = 1$.

Глинистые грунты характеризуются дополнительно еще величиной начального гидравлического градиента напора и зависимостью скорости движения воды от механического давления.

Основная идея определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов состоит в следующем. Через образец грунта площадью поперечного сечения A и толщиной L пропускается, под напором H , вода. За фиксированное время t через образец грунта профильтруется вода в объеме

$$Q = K_{\phi} \cdot A \cdot I \cdot t . \quad (3.59)$$

Используя данную зависимость и измеряя количество профильтрованной воды Q за время t , определяется величина коэффициента фильтрации грунта

$$K_{\phi} = \frac{Q}{A \cdot I \cdot t} . \quad (3.60)$$

Все приборы для лабораторного определения коэффициента фильтрации могут быть подразделены на два типа: с постоянным напором и переменным.

Приборы, моделирующие постоянство напорного градиента, т.е. установившееся движение (приборы Тима, трубка конструкции СПЕЦГЕО), применимы в основном для грунтов с высокой водопроницаемостью, например, для песков.

Приборы, моделирующие переменный напор, характеризующий неустановившееся движение, обычно используют для определения коэффициента фильтрации связных грунтов с малой водопроницаемостью. Это компрессионно-фильтрационные приборы типа Ф-1М.

В данной работе используется прибор КФ-00М для испытаний песчаных грунтов.

Коэффициент фильтрации используется в расчетах осадок фундаментов во времени, для определения притока воды к котлованам, дренажным и водозаборным устройствам и в других случаях.

Задание

1 Изучить устройство прибора КФ-00М и составить расчетную схему к определению коэффициента фильтрации воды в песчаных грунтах.

2 Провести экспериментальное определение прибором КФ-00М величины коэффициента фильтрации заданного песчаного грунта.

Оборудование и приборы. Испытание песчаного грунта производится на приборе КФ-00М. Кроме него необходимо иметь весы лабораторные, термометр, секундомер, колбу с водой. Конструкция прибора КФ-00М приведена на рисунке 3.16.

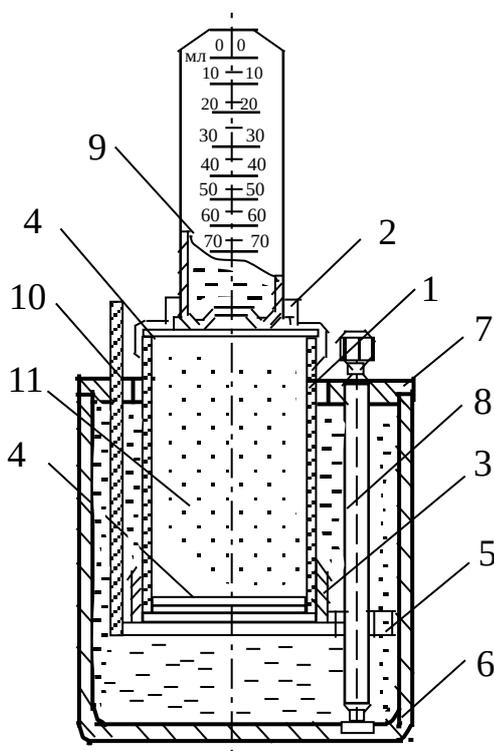


Рисунок 3.16 – Схема фильтрационного прибора КФ-00М

Подготовка к испытанию. При подготовке к испытаниям выполняется следующий перечень работ.

1 Из корпуса прибора извлекается и разбирается фильтрационная трубка.

2 Производится заполнение цилиндра 1 песком нарушенного сложения. Для этой цели на цилиндр надевают дно 3 с латунной сеткой 4, покрытой кружками марли. Воздушно-сухой грунт с

известной плотностью частиц ρ укладывают в цилиндр через верх слоями, толщиной 1...2 см. Необходимая масса грунта m вычисляется по формуле

$$m = V \cdot \rho, \quad (3.61)$$

где V - объем цилиндра, см³;
 ρ - заданная плотность грунта, г/см³.

Если требуемая масса грунта не помещается в цилиндр, то ее необходимо уплотнить легким трамбованием.

3 В корпус 6 наливается вода и вращением подъемного винта подставка 5 поднимается вверх до совмещения отметки градиента напора на планке с верхним краем крышки корпуса 7.

4 Цилиндр с грунтом устанавливается на подставку и вращением подъемного винта медленно погружается в воду до отметки градиента 0,8 и остается в таком положении до увлажнения грунта. При этом поддерживается постоянный уровень воды в корпусе прибора.

Порядок выполнения работы. Проведение испытания осуществляется в следующей последовательности.

1 Вращением винта 8 установить цилиндр с грунтом в положение по вертикали, соответствующее заданному градиенту напора (отсчет по планке 10 на уровне верха крышки 7). В корпус долить воду до верхнего края.

2 Измерить термометром температуру воды.

3 Стекланный баллон 9 наполнить водой, закрыть отверстие пальцем, быстро перевернуть его и установить в муфту 2 вплотную с латунной сеткой 4. Начать фиксацию поступления в баллон пузырьков воздуха и падения в нем по шкале уровня воды.

4 Отметить по секундомеру время, когда уровень воды в баллоне достигнет отметки 10 или 20 см³. Это время принять за начало отсчета.

5 Продолжать фиксацию времени, когда уровень воды в баллоне будет достигать деления 20, 30, 40, 50 (или 20, 40, 60, 80) см³. Произвести четыре отсчета. Результаты занести в таблицу 3.11.

Таблица 3.11 – Журнал определения коэффициента фильтрации грунта

Время фильтрации t_m, c		Объем профильтровавшей воды V_w, cm^3	Температура воды $T_w, ^\circ C$	Градиент напора I	Коэффициент фильтрации $K_f, м/сут$
отдельные замеры	среднее				

--	--	--	--	--	--

Обработка результатов

1 Коэффициент фильтрации грунта K_{ϕ} , приведенный к условиям фильтрации воды при температуре 10°C , вычислить по формуле

$$K_{\phi} = \frac{864 \cdot V_w}{t_m \cdot A \cdot T \cdot I}, \quad (3.62)$$

где V_w - объем профильтровавшейся воды при одном замере, см^3 ;

t_m - средняя продолжительность фильтрации, с;

A - площадь поперечного сечения цилиндра фильтрационной трубки, см^2 ;

I - градиент напора;

$T = (0,7 + 0,03T_{\phi})$ - поправка для приведения значения коэффициента фильтрации к условиям фильтрации воды при температуре

10°C , где T_{ϕ} - фактическая температура воды при испытании, $^{\circ}\text{C}$;

2 Вычислить соответствующую данному значению K_{ϕ} величину коэффициента пористости грунта e по формуле

$$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d, \quad (3.63)$$

где ρ_d - плотность грунта, принимаемая равной плотности воздушно-сухого грунта ρ , $\text{г}/\text{см}^3$;

ρ_s - плотность частиц грунта, $\text{г}/\text{см}^3$.

Меры безопасности. Не подвергать прибор резким толчкам и ударам. Соблюдать осторожность в работе со стеклянным баллоном.

Контрольные вопросы

1. Что называется коэффициентом фильтрации грунта?
2. Описать ход выполнения испытаний.
3. Что называется начальным градиентом в глинистых грунтах?
4. Как определяется величина градиента напора?
5. Сформулируйте закон ламинарной фильтрации воды в грунтах (закон Дарси).
6. Какие факторы влияют на фильтрационные свойства грунтов?
7. Как устроен фильтрационный прибор?

8. При решении каких задач используется коэффициент фильтрации грунта?

3.8 Определение угла естественного откоса песчаного грунта

Цель работы: изучить методику определения угла естественного откоса песчаного грунта прибором УВТ-2.

Общие положения. Углом естественного откоса называется угол, при котором неукрепленный песчаный откос сохраняет предельное равновесие, или угол, под которым располагается свободно осыпавшийся песок. Для сыпучих грунтов в сухом и водонасыщенном состоянии угол естественного откоса практически совпадает с углом внутреннего трения [28, с. 27].

Задание

1 Изучить оборудование для определения угла естественного откоса песчаного грунта.

2 Определить угол естественного откоса песчаного грунта прибором УВТ-2.

Оборудование и приборы. Определение угла естественного откоса песчаного грунта осуществляется прибором УВТ-2 (рисунок 3.17). Угол естественного откоса определяется для песка, находящегося в воздушно-сухом и подводном состояниях. Для определения опыта необходимо иметь следующее оборудование: совочек; шпатель; фарфоровая ступка с резиновым пестиком; воронка.

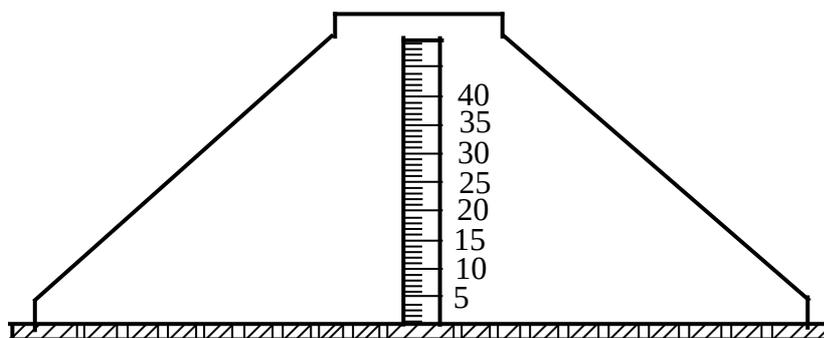


Рисунок 3.17 – Схема прибора УВТ-2

Проведение испытания

1 Отобрать пробу песчаного грунта массой около 1кг.

2 Установить прибор УВТ-2 на ровную поверхность и в его резервуар поместить мерительный столик с опорами и центральной шкалой.

3 Засыпать сухой песок в обойму прибора с помощью совка и воронки.

4 Осторожно, без толчков, по возможности вертикально, снять обойму. По вершине и основанию образовавшегося песчаного конуса взять отсчет по шкале в градусах, который и будет искомым углом естественного откоса.

5 Опыт повторяется три-четыре раза с таким расчетом, чтобы расхождение между результатами составляло не более 2° . За угол естественного откоса исследуемого грунта принимают среднее арифметическое результатов проведенного опыта. Результаты опытов занести в журнал.

6 Для определения угла естественного откоса песчаного грунта в подводном состоянии необходимо после выполнения операций, указанных в пунктах 1,2 и 3, заполнить с помощью резиновой трубки резервуар водой, которая пропитает грунт через отверстия в столике. Высота столба воды должна быть на 2...3 мм ниже верха обоймы.

7 После насыщения песка водой снять обойму.

Таблица 3.12 - Журнал определения угла естественного откоса грунта

Номер опыта	Сухой песок		Номер опыта	Водонасыщенный песок	
	Угол α , град.	Среднее значение угла α_{cp} , град.		Угол α , град.	Среднее значение угла α_{cp} , град.

Меры безопасности. При работе с песчаным грунтом предохранять глаза от попадания в них пылеватых частиц.

Контрольные вопросы

1. Что называют углом естественного откоса?
2. Для каких целей определяется угол естественного откоса?
3. В чем состоит причина отличия величин углов естественного откоса песчаного грунта в сухом и подводном состояниях?

3.9 Определение нормативных и расчетных характеристик прочности грунтов

Общие положения. Методологической основой обработки экспериментальных данных являются теория вероятности и математическая статистика.

Для адекватного применения методов теории вероятности и математической статистики к обработке опытных результатов выборка должна обладать следующей совокупностью свойств:

- а) являться частью генеральной совокупности;

б) элементы выборки являются случайными реализациями некоторой случайной величины, устанавливаемой в эксперименте единым методом испытания;

в) элементы выборки используются для определения, как ее собственных параметров, так и для оценки характеристик генеральной совокупности;

г) выборка не должна содержать элементов с численными значениями, резко отличающимися от основной массы результатов.

Каждый результат испытания должен быть отнесен к определенному типу грунта, его физическому состоянию и положению в основании сооружения. Статистическая обработка результатов испытаний проводится для выделенного инженерно-геологического элемента (ИГЭ) или расчетного грунтового элемента (РГЭ) основания [29].

По результатам статистической оценки результатов испытаний первоначально устанавливаются нормативные характеристики грунтов.

При использовании нормативных характеристик грунтов в геотехнических расчётах зданий и сооружений вводятся их расчётные значения. Расчётные характеристики грунтов определяются по формуле [4, с. 5]

$$X = X_n / \gamma_g, \quad (3.64)$$

где X_n - нормативное значение характеристики грунта;

γ_g - коэффициент надёжности по грунту.

Величина γ_g для характеристик прочности грунтов устанавливается с учетом числа испытаний и заданной доверительной вероятности α . При проектировании оснований и фундаментов величина α принимается: для расчётов по первой группе предельных состояний – 0,95; по второй – 0,85.

Порядок определения расчетных характеристик прочности грунтов

1 Определяются нормативные значения $tg\varphi_n$ и C_n

$$tg\varphi_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n tg\varphi_j, \quad (3.65)$$

$$C_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n C_j. \quad (3.66)$$

2 Определяются среднеквадратические отклонения $S_{tg\varphi}$ и S_c

$$S_{tg\varphi} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (tg\varphi_n - tg\varphi_j)^2 / (n-1)}, \quad (3.67)$$

$$S_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C_n - C_j)^2 / (n-1)}. \quad (3.68)$$

3 Определяются значения коэффициентов вариации

$$V_{tg\varphi} = S_{tg\varphi} / tg\varphi_n, \quad V_c = S_c / C_n. \quad (3.69)$$

4 Производится статистическая проверка возможных ошибок определения $tg\varphi_j$ и C_j .

а) Оценка грубых ошибок. Исключение отдельных результатов испытаний из общей совокупности осуществляется при соблюдении условия

$$|tg\varphi_n - tg\varphi_j| > \nu S_{tg\varphi}, \quad |C_n - C_j| > \nu S_c, \quad (3.70)$$

где ν - статистический критерий при двусторонней доверительной вероятности $\alpha = 0,95$, зависящий от числа опытов n :

$n \dots$	3	4	5	6	8	10	15	20
$\nu \dots$	1,41	1,71	1,92	2,07	2,27	2,41	2,64	2,78

Если для какой-либо пары $tg\varphi_j$ и C_j условия (3.70) выполняются, то она из дальнейшего статистического анализа исключается. Для оставшихся опытных данных необходимо вновь определить $tg\varphi_n$ и C_n , $S_{tg\varphi}$ и S_c .

б) Оценка адекватности математической модели. Производится оценка соответствия экспериментальных данных теоретическому, в частности, нормальному закону распределения случайной величины. Эта оценка, в общем случае, выполняется с использованием критериев согласия Пирсона, Колмогорова и др. [30, с. 359]. Используются также и практические подходы. Так, в соответствии с ГОСТ 20522-96 [4, с. 6], если коэффициент вариации характеристики (3.69) превышает 0,4, ее параметры могут быть вычислены с использованием логарифмически нормального закона распределения случайной величины [4, с. 9].

5 Вычисляются показатели точности оценки средних значений характеристик прочности грунтов в зависимости от заданной доверительной вероятности

$$\delta_{tg\varphi} = t_{\alpha} \cdot V_{tg\varphi} / \sqrt{n}, \quad \delta_c = t_{\alpha} \cdot V_c / \sqrt{n}, \quad (3.71)$$

где t_{α} - коэффициент, определяемый по таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Значения коэффициента t_{α}

Число степеней свободы $K = n - 1$	Значения коэффициента t_{α} при односторонней доверительной вероятности α , равной		
	0,85 (0,70)	0,95 (0,90)	0,99 (0,98)
3	1,25	2,35	4,54
4	1,19	2,13	3,75
5	1,16	2,01	3,36
6	1,13	1,94	3,14
7	1,12	1,90	3,00
8	1,11	1,86	2,90
9	1,10	1,83	2,82
10	1,10	1,81	2,76
15	1,07	1,75	2,60
20	1,06	1,72	2,53
30	1,05	1,70	2,46
40	1,05	1,68	2,42

6 Вычисляются коэффициенты надежности по грунту для расчетов по первому и второму предельным состояниям

$$\gamma_{g,tg\varphi} = \frac{1}{1 \pm \delta_{tg\varphi}}, \quad \gamma_{g,c} = \frac{1}{1 \pm \delta_c}. \quad (3.72)$$

7 Определяются расчетные значения сцепления и угла внутреннего трения грунтов для расчетов по первому и второму предельным состояниям

$$tg\varphi = \frac{tg\varphi_n}{\gamma_{g,tg\varphi}}, \quad C = \frac{C_n}{\gamma_{g,c}}. \quad (3.73)$$

8 Статистическая обработка результатов опытов с использованием логарифмически нормального закона распределения случайной величины (п. 4 б) выполняется в следующей последовательности:

8.1 Для всех опытных данных вычисляются логарифмы величин $lgtg\varphi_j$ и lgC_j .

8.2 Определяются средние значения и среднеквадратичные отклонения величин

$$\bar{X}_{tg\varphi} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \lg tg \varphi_j, \quad \bar{X}_c = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \lg C_j, \quad (3.74)$$

$$S_{tg\varphi} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \left[\lg tg \varphi_j - \bar{X}_{tg\varphi} \right]^2}, \quad S_c = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \left[\lg C_j - \bar{X}_c \right]^2}. \quad (3.75)$$

8.3 Вычисляются нормативные характеристики

$$\lg tg \varphi_n = \bar{X}_{tg\varphi} + 1.15 S_{tg\varphi}, \quad \lg C_n = \bar{X}_c + 1.15 S_c. \quad (3.76)$$

8.4 Устанавливается полудлина доверительного интервала

$$\Delta_{tg\varphi} = U_\alpha + \frac{S_{tg\varphi}}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + 2.65 S_{tg\varphi}^2}, \quad \Delta_c = U_\alpha + \frac{S_c}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + 2.65 S_c^2} \quad (3.77)$$

где U_α - определяется в зависимости от односторонней доверительной вероятности α :

α	0,85	0,90	0,95	0,975	0,99
U_α	1,03	1,28	1,65	1,96	2,33

8.5 Определяются логарифмы расчетных значений характеристик прочности грунтов

$$\lg tg \varphi = \lg tg \varphi_n \pm \Delta_{tg\varphi}, \quad \lg C = \lg C_n \pm \Delta_c. \quad (3.78)$$

Значения $tg \varphi$ и C находят в результате операции антилогарифмирования.

Обработка результатов с применением ПЭВМ. Определение нормативных и расчетных характеристик прочности грунтов можно осуществить по следующей программе "GEOSTAT", написанной на языке Турбо-Паскаль.

program GEOSTAT;

const k=6;

n=6;

var i,j : integer;

sx,sy,so,p,v,Y1,Y2,xn,s,x1,x2,lx,d,t,u,ns,lx1,lx2 : real;

x: array [1..6] of real;

y: array [1..6] of real;

begin

writeln('massive1');

for i:=1 to k do

read(x[i]);

writeln('t=');

read(t);

```

writeln('u=');
read(u);
writeln('ns=');
read(ns);
sx:=0;
so:=0;
for i:=1 to k do
sx:=sx+x[i];
xn:=sx/k;
for i:=1 to k do
so:=so+sqr(x[i]-xn);
s:=sqrt(so/(k-1));
v:=s/xn;
p:=(t*v)/sqrt(k);
Y1:=1/(1+p);
Y2:=1/(1-p);
x1:=xn/Y1;
x2:=xn/Y2;
if v>0.4 then
begin
writeln('massive2');
for j:=1 to n do
read(y[j]);
sy:=0;
so:=0;
for j:=1 to n do
sy:=sy+y[j];
xn:=sy/n;
for j:=1 to n do
so:=so+sqr(y[j]-xn);
s:=sqrt(so/(n-1));
lx:=xn+1.151*s*s;
d:=u+s*(sqrt(1+2.65*s*s))/sqrt(n);
lx1:=lx+d;
lx2:=lx-d;
writeln ('lx1=',x1:8:6);
writeln ('lx2=',x2:8:6);
end
else
writeln ('x1=',x1:8:6);
writeln ('x2=',x2:8:6);

```

end.

Примечания к программе.

1 Определение нормативных и расчетных параметров прочности грунтов производится по формулам (3.65)...(3.78).

2 Входными параметрами являются: частные значения параметров прочности c_j или $tg\varphi_j$ - (x), их логарифмы - (y); количество частных значений c_j или $tg\varphi_j$ - (k,n); коэффициент Стьюдента (таблица 3.13) t_α - (t); коэффициент, зависящий от односторонней доверительной вероятности (формула 3.77) U_α - (u); статистический критерий (формула 3.70) v - (ns).

3 Выходными характеристиками являются: расчетные значения сцепления C или угла внутреннего трения $tg\varphi$ - (x1,x2), или их логарифмы lgC_j , $lg tg\varphi_j$ - (lx1,lx2).

Пример определения расчетных характеристик прочности грунта. По результатам испытаний грунтов на одноплоскостной срез в шести точках одного инженерно-геологического элемента получены следующие частные значения параметров прочности грунта, представленные в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Значения параметров прочности грунта на сдвиг

Тип грунта	Номера точек опробования основания	Частные значения параметров прочности	
		сцепление C_j , МПа	$tg\varphi_j$
Супесь	1	0,130	0,525
	2	0,15	0,513
	3	0,12	0,533
	4	0,15	0,516
	5	0,10	0,500
	6	0,14	0,518

Определить нормативные и расчетные значения сцепления и угла внутреннего трения.

Решение.

1 По формулам (3.65) и (3.66) определяем нормативные значения $tg\varphi_n$ и C_n

$$tg\varphi_n = \frac{1}{6} (0.525 + 0.513 + 0.533 + 0.516 + 0.500 + 0.518) = 0.5175,$$

$$C_n = \frac{1}{6} (0.13 + 0.15 + 0.12 + 0.15 + 0.10 + 0.14) = 0.1317 \text{ МПа} .$$

2 Определяем среднеквадратические отклонения $S_{tg\varphi}$ и S_c по формулам (3.67) и (3.68)

$$S_{tg\varphi} = \frac{1}{\sqrt{6-1}} \sqrt{\begin{matrix} (0,5250 - 0,5175)^2 + (0,5130 - 0,5175)^2 + \\ (0,533 - 0,5175)^2 + (0,5160 - 0,5175)^2 + \\ (0,5000 - 0,5175)^2 + (0,5180 - 0,5175)^2 \end{matrix}} = 0,01118481$$

$$S_c = \frac{1}{\sqrt{6-1}} \sqrt{\begin{matrix} (0,1300 - 0,1317)^2 + (0,1500 - 0,1317)^2 + \\ (0,1200 - 0,1317)^2 + (0,1500 - 0,1317)^2 + \\ (0,1000 - 0,1317)^2 + (0,1400 - 0,1317)^2 \end{matrix}} = 0,01940794$$

3 Производим статистическую проверку для исключения возможных ошибок в значениях $tg\varphi_j$ и C_j по формулам (3.70).

$$v \cdot S_{tg\varphi} = 2,07 \cdot 0,01118481 = 0,02315; \quad v \cdot S_c = 2,07 \cdot 0,01940794 = 0,04017.$$

Анализ значений $|C_n - C_j|$ и $|tg\varphi_n - tg\varphi_j|$ показывает, что условия (3.70) не выполняются. Следовательно, все частные значения C_j и $tg\varphi_j$ можно использовать в дальнейшем статистическом анализе.

4 Вычисляем коэффициенты вариации по формулам (3.69)

$$V_{tg\varphi} = 0,01118481 / 0,5175 = 0,02161,$$

$$V_c = 0,01940794 / 0,1317 = 0,14736.$$

Все значения менее 0,4. Следовательно, нормальный закон распределения случайных величин адекватен экспериментальным данным.

5 Определяем показатели точности оценки среднего значения характеристик прочности по формулам (3.71):

а) для расчетов по деформациям ($\lambda = 0,85$)

$$\delta_{tg\varphi} = 1,16 \cdot 0,02161 / \sqrt{6} = 0,0102,$$

$$\delta_c = 1,16 \cdot 0,14736 / \sqrt{6} = 0,0698;$$

б) для расчетов по несущей способности ($\lambda = 0,95$)

$$\delta_{tg\varphi} = 2,01 \cdot 0,02161 / \sqrt{6} = 0,177,$$

$$\delta_c = 2,01 \cdot 0,14736 / \sqrt{6} = 0,1209.$$

6 Вычисляем коэффициенты надежности по грунту по формулам (3.72):

а) для расчетов по деформациям ($\lambda = 0,85$)

$$\gamma_{g,tg\varphi} = 1 / (1 \pm 0,0102) = 0,9899 \text{ и } 1,0103,$$

$$\gamma_{g,c} = 1 / (1 \pm 0,0698) = 0,9347 \text{ и } 1,0750;$$

б) для расчетов по несущей способности ($\lambda = 0,95$)

$$\gamma_{g,tg\varphi} = 1 / (1 \pm 0,0177) = 0,9826 \text{ и } 1,0180,$$

$$\gamma_{g,c} = 1 / (1 \pm 0,1209) = 0,8921 \text{ и } 1,1375.$$

7 Определяем расчетные значения характеристик прочности грунта по формулам (3.73):

а) для расчетов по деформациям

$$tg\varphi = 0,5175 / 1,0103 = 0,5122,$$

$$c = 0,1317 / 1,0750 = 0,1225 \text{ МПа};$$

б) для расчетов по несущей способности

$$tg\varphi = 0,5175 / 1,018 = 0,5083,$$

$$c = 0,1317 / 1,1375 = 0,1158 \text{ МПа}.$$

3.10 Тест по механическим характеристикам грунтов

1 Приведенная зависимость $V = K_{\phi} \cdot I$,
где V - скорость движения воды в грунтах; K_{ϕ} – коэффициент
фильтрации грунта; I – гидравлический градиент напора воды,
выражает:

- а) закон Кулона;
- б) закон Дарси;
- в) закон уплотнения грунта;
- г) принцип линейной деформируемости грунтов;
- д) уравнение теории наследственной ползучести грунтов.

2 Скорость фильтрации при напорном градиенте, равном
единице, называют:

- а) коэффициентом консолидации;
- б) коэффициентом влагопроводности;
- в) коэффициентом упругой водоотдачи ;
- г) коэффициентом фильтрации;
- д) коэффициентом гравитационной водоотдачи.

3 Мера (скорость) изменения разности напоров подземных вод
на единицу длины потока, называется:

- а) начальным гидравлическим градиентом напора;
- б) коэффициентом консолидации;
- в) вторичной консолидацией;
- г) коэффициентом гравитационной водоотдачи.
- д) гидравлическим градиентом.

4 По результатам компрессионных испытаний определяют:

- а) угол внутреннего трения грунта;
- б) сцепление грунта;
- в) модуль общей деформации грунта;
- г) прочность грунта на отрыв;
- д) контактное сопротивление сдвигу.

5 Компрессионная кривая определяет зависимость между:

- а) осадкой образца и нагрузкой;
- б) осадкой образца и влажностью;

- в) нагрузкой и сопротивлением грунта сдвигу;
- г) коэффициентом пористости и нагрузкой;
- д) осадкой образца и степенью влажности.

6 Зависимость $de = -a \cdot dp$ определяет:

- а) закон сопротивления грунта сдвигу Кулона;
- б) закон ламинарной фильтрации воды в грунтах;
- в) уравнение теории наследственной ползучести грунтов;
- г) закон сопротивления грунта сдвигу Кулона - Мора;
- д) закон уплотнения грунта.

7 Коэффициент сжимаемости грунта есть отношение:

- а) приращений коэффициента пористости и давления;
- б) продольной деформации к поперечной;
- в) поперечной деформации к продольной;
- г) изменения пористости к степени влажности;
- д) приращение вертикального давления к горизонтальному.

8 Модуль общей деформации представляет собой:

- а) отношение объема пор к объему минеральной части грунта;
- б) коэффициент пропорциональности между напряжениями и относительными упругими деформациями;
- в) коэффициент пропорциональности между напряжениями и относительными остаточными деформациями;
- г) коэффициент пропорциональности между напряжениями и относительными суммарными (упругими и остаточными) деформациями;
- д) коэффициент пропорциональности между напряжениями и изменением объема твердых частиц.

9 Эффективным называют давление:

- а) в минеральном скелете грунта;
- б) в поровой жидкости;
- в) в газообразной компоненте грунта;
- г) равное сумме давлений в жидкости и скелете грунта;
- д) равное разности давлений в жидкости и скелете грунта.

10 Нейтральным называют давление:

- а) в минеральном скелете грунта;
- б) в поровой жидкости;
- в) в газообразной компоненте грунта;
- г) равное сумме давлений в жидкости и скелете грунта;

д) равное разности давлений в жидкости и скелете грунта.

11 В любой момент времени в водонасыщенном грунте сумма эффективного (P_z) и нейтрального (P_w) давления удовлетворяет условию:

- а) $P_z = P_w > P$;
- б) $P_z + P_w > P$;
- в) $P_z - P_w < P$;
- г) $P_z + P_w = P$;
- д) $P_z = P_w \leq P$,

где P – суммарное давление в грунте.

12 Зависимость $\tau_{np} = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$,

где τ_{np} - предельное сопротивление грунта сдвигу; c - сцепление грунта; φ - угол внутреннего трения грунта; σ - нормальное давление, определяет:

- а) закон Гука;
- б) закон Дарси;
- в) принцип гидроемкости Герсеванова;
- г) закон Кулона;
- д) уравнение Вольтера.

13 По результатам испытаний грунта на сдвиг определяют:

- а) угол естественного откоса;
- б) модуль общей деформации грунта;
- в) коэффициент пористости грунта;
- г) коэффициент сжимаемости грунта;
- д) угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта.

14 Грунт, для которого угол внутреннего трения $\varphi = 0$ и сцепление $c \neq 0$ называют:

- а) идеально сыпучим;
- б) идеально связным;
- в) песчаным;
- г) крупнообломочным;
- д) скальным.

15 Грунт, для которого внутреннее трение $\varphi \neq 0$ и сцепление $c = 0$ называют:

- а) скальным;
- б) полускальным;
- в) загипсованным;

- г) идеально сыпучим;
- д) идеально связным.

16 По результатам стабиллометрических испытаний определяют:

- а) пористость грунта;
- б) угол естественного откоса грунта;
- в) показатель текучести грунта;
- г) удельный вес частиц грунта;
- д) показатели прочности и деформируемости грунта.

17 Напряженное состояние образца является одноосным, когда:

- а) $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$;
- б) $\sigma_1 > 0; \sigma_2 = \sigma_3 = 0$;
- в) $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$;
- г) $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$;
- д) $\sigma_1 = \sigma_3 > \sigma_2$,

где σ_1 - большее, σ_2 - промежуточное, σ_3 - минимальное главное напряжение.

18 Напряженное состояние образца отвечает условию компрессионного сжатия, когда:

- а) $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$;
- б) $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 0$;
- в) $\sigma_2 = \sigma_3 = \lambda \sigma_1$;
- г) $\sigma_1 = \sigma_2 > \lambda \sigma_3$;
- д) $\sigma_1 = \sigma_3 > \lambda \sigma_2$,

где σ_1 - большее, σ_2 - промежуточное, σ_3 - минимальное главное напряжение; λ - коэффициент бокового давления.

19 При стабиллометрических испытаниях по схеме раздавливания напряженное состояние в образце грунта отвечает условию:

- а) $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$;
- б) $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 0$;
- в) $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$;
- г) $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$;
- д) $\sigma_1 = \sigma_3 > \sigma_2$,

где σ_1 - большее, σ_2 - промежуточное, σ_3 - минимальное главное напряжение.

20 Величину
$$\mu = \frac{2\sigma_2 - (\sigma_1 + \sigma_3)}{\sigma_1 - \sigma_3},$$

где $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ - главные напряжения, называют:

- а) коэффициент консолидации;
- б) параметр Лоде;
- в) коэффициент уплотнения;
- г) коэффициент Пуассона;
- д) коэффициент бокового давления.

21 Угол между нормалью к площадке разрушения грунта и наибольшим главным напряжением по критерию прочности Кулона - Мора равен:

- а) $45^\circ + \varphi$;
- б) $45^\circ - \varphi$;
- в) $\pm(45^\circ - \varphi/2)$;
- г) $45^\circ + \varphi/2$;
- д) $45^\circ - \varphi/4$,

где φ - угол внутреннего трения грунта.

22 Зависимость вида $\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi}$,

где σ_1 и σ_3 - главные напряжения; c и φ - сцепление и угол внутреннего трения грунта, определяет:

- а) закон Гука;
- б) закон Дарси;
- в) принцип гидроемкости Герсеванова;
- г) закон Кулона;
- д) закон Кулона-Мора.

23 Ползучестью называют способность грунта:

- а) увеличивать внутренние напряжения во времени при постоянной деформации;
- б) уменьшать внутренние напряжения во времени при постоянной деформации;
- в) снижать свою прочность во времени;
- г) развивать деформации во времени при постоянной нагрузке;
- д) увеличивать деформации при возрастании нагрузки.

Литература

- 1 ГОСТ 30416 – 96. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – М. : МНТКС, 1996. – 18 с.
- 2 СТ РК 2.4 – 2000. Поверка средств измерений, организация и порядок проведения. – Астана : 2000. – 14 с.

3 ГОСТ 12248 – 96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М. : Издательство стандартов, 1997. – 99 с.

4 ГОСТ 20522-96. Методы статистической обработки результатов испытаний. – М.: МНТКС, 1996. – 13 с.

5 ГОСТ 25100 – 95. Грунты. Классификация. – М.: МНТКС, 1995. – 43 с.

6 ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) состава. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 13 с.

7 ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик – М.: Издательство стандартов, 1984. – 27с.

8 ГОСТ 25584 – 90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 12 с.

9 Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1983. – 287 с.

10 Далматов Б.И., Бронин В.Н., Карлов В.Д. и др. Механика грунтов. Ч.1. Основы геотехники в строительстве. – М.: Издательство АСВ, 2000. – 204 с.

11 Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1978. – 447 с.

12 Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов. – Ростов-на-Дону: Издательство РГК, 1987. – 453 с.

13 Малышев М.В., Болдырев Г.Г. Механика грунтов, основания и фундаменты (в вопросах и ответах). – М.: АСВ, 2000. – 32 с.

14 Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты. – М.: Высшая школа, 2002. – 556 с.

15 Исаханов Е.А., Мусаев Т.С. Механика грунтов: Учебное пособие. – Алматы: Ана тілі, 1996. – 120 с.

16 Бугров А.К., Нарбут Р.М., Сипидин В.П. Исследование грунтов в условиях трехосного сжатия. – Ленинград: Стройиздат, 1987. – 184 с.

17 Тер-Мартirosян З.Г. Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений. – М.: Стройиздат, 1990. – 200 с.

18 СНиП РК 5.01 – 01 – 2002. Основания зданий и сооружений. – Астана: 2002. – 83 с.

19 Абелев М.Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. – М.: Стройиздат, 1983. – 248 с.

- 20 Бакенов Б.Б., Бойко Н.В., Джумашев У.Р. Основания и фундаменты на засоленных грунтах. – М.: Стройиздат, 1988. – 136 с.
- 21 Жусупбеков А.Ж. Строительные свойства оснований фундаментов сооружений на подрабатываемых территориях. – Алматы: Гылым, 1994. – 162 с.
- 22 Soil and rock mechanics testing equipment. – Controls, 2002. – 109 p.
- 23 Advanced Laboratory Stress – Strain Testing of Geomaterials Edited by F. Tatsuoka, S. Shibuya, R. Kuwano. – Tokyo: 2003. – 329 p.
- 24 Болдырев Г.Г. Автоматизированная система для механических испытаний образцов грунта.//Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1991. – №3. – С. 18-21.
- 25 Морарескул Н.Н., Науменко В.Г. Методические указания к выполнению лабораторных работ по механике грунтов. – Ленинград: ЛИСИ, 1985. – 38с.
- 26 Кубецкий В.Л. Закономерности ползучести и длительной прочности трещиноватых скальных пород по результатам полевых исследований / Труды первого симпозиума по реологии грунтов. – Ереван: 1973. – С.234-246.
- 27 Kubetsky V.L., Kozionov V.A. Investigating rheological properties of fissured semirocks . – Proceedings of the international symposium weak rock. – Tokyo : 1981. – p. 111 – 118.
- 28 Алдунгаров М.М. Методические указания к выполнению лабораторных работ по механике грунтов. – Алма-Ата: РУМК, 1990. – 42 с.
- 29 Слюсаренко С.А. Механика грунтов: Лабораторные работы. – Киев : Высшая школа , 1982. – 87 с.
- 30 Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – М. : ЮНТИ – ДАНД, 2003. – 543 с.

Приложение А (справочное)

Ответы к тестам по определению физических характеристик грунтов

1б, 2в, 3а, 4г, 5б, 6а, 7а, 8б, 9в, 10б, 11д, 12в, 13в, 14в, 15в, 16б, 17д, 18г, 19г, 20д, 21в, 22д, 23а, 24д

Ответы к тестам по определению механических характеристик грунтов

1б, 2г, 3д, 4в, 5г, 6д, 7а, 8г, 9а, 10б, 11г, 12г, 13д, 14б, 15г, 16д, 17б, 18в, 19в, 20б, 21в, 22д, 23г

Содержание

Введение	3
1 Основы методик лабораторных испытаний грунтов	4
1.1 Общие положения	4
1.2 Обеспечение представительности образцов грунта	5
1.3 Учет условий нагружения и деформирования грунтов	7

1.4 Стандартизация испытаний грунтов	8
1.5 Метрологическое обеспечение испытаний грунтов	9
1.6 Оценка погрешностей и ошибок испытаний грунтов	12
1.7 Особенности испытаний грунтов в учебных целях	14
2 Определение физических характеристик грунтов	15
2.1 Методы определения физических характеристик грунтов	15
2.2 Определение гранулометрического состава песчаных грунтов	17
2.3 Определение влажности грунта	21
2.4 Определение границ текучести и раскатывания глинистого грунта	23
2.5 Определение плотности грунта методом режущего кольца	27
2.6 Определение плотности грунта методом взвешивания в воде	29
2.7 Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом	32
2.8 Тест по определению физических характеристик грунтов	34
3 Определение механических характеристик грунтов	39
3.1 Общая характеристика методов испытаний грунтов	39
3.2 Определение параметров прочности грунтов методом одноплоскостного среза	46
3.3 Определение прочности грунтов на одноосное сжатие	54
3.4 Определение характеристик деформируемости грунтов методом компрессионного сжатия	58
3.5 Оценка параметров развития деформаций глинистых грунтов во времени	67
3.6 Определение механических характеристик грунтов методом трехосного сжатия	75
3.7 Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов	86
3.8 Определение угла естественного откоса песчаного грунта	90
3.9 Определение нормативных и расчетных характеристик прочности грунтов	92
3.10 Тест по механическим характеристикам грунтов	101
Литература	106
Приложение А	