

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Под общей редакцией доктора технических наук,
профессора Ю.П. Скачкова

Пенза 2014

УДК 624.131.4.001(75)

ББК 38.58я73.

M55

*Методические указания подготовлены в рамках проекта
«ПГУАС – региональный центр повышения качества подготовки
высококвалифицированных кадров для строительной отрасли»
(конкурс Министерства образования и науки Российской Федерации –
«Кадры для регионов»)*

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензенты: доктор технических наук, профессор А.И. Шеин (ПГУАС);
зам. директора по проектированию
ООО «Новотех» А.А. Полежай;
главный инженер проекта ООО «Новотех» С.А. Сучков

Механика грунтов: метод. указания по выполнению лабораторных работ / О.В. Хрянина, В.С. Глухов; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 64 с.

Дается описание методов определения основных физико-механических характеристик грунтов в лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 5180–84. В необходимом объеме приведены теоретические сведения, сведения о применяемых приборах, изложена методика выполнения лабораторных работ по механике грунтов. Представлены вопросы тестового контроля знаний студентов по основным темам курса.

Методические указания направлены на усвоение знаний нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест, овладение методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных прикладных расчетных и графических программных пакетов.

Методические указания подготовлены на кафедре «Геотехника и дорожное строительство» и базовой кафедре ПГУАС при ООО «Новотех» и предназначены для подготовки бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство» очной и заочной форм обучения.

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2014

© Хрянина О.В., Глухов В.С., 2014

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании зданий и сооружений важнейшим этапом является обоснованный выбор оптимального и надежного варианта фундаментов с учетом инженерно-геологических условий площадки строительства. Оценка последних требует обоснованного прогноза геологических процессов, которые могут возникнуть на участке строительства в силу естественных причин или под влиянием инженерной деятельности человека. Основой прогноза являются результаты инженерно-геологических изысканий, обеспечивающих составление качественных оценок надежности работы основания будущего сооружения. Методы механики грунтов с использованием достоверных результатов полевых и лабораторных испытаний по определению характеристик грунтов позволяют перейти от качественных прогнозов к количественным оценкам надежности работы основания путем расчета. •

Бакалавр, обучающийся по направлению «Строительство», должен не только знать и хорошо понимать расчетные методы механики грунтов, но уметь применять их в своей практической деятельности при проектировании и устройстве оснований и фундаментов. При этом весьма важными являются навыки, приобретенные в процессе выполнения лабораторных работ по определению основных характеристик грунтов, целью которых является ознакомление студентов с методикой определения физико-механических свойств грунтов и их характеристиками, используемыми при оценке состояния грунтового основания на различных стадиях работы. Методика и объем испытаний соответствуют стандартам и действующим нормам проектирования оснований и фундаментов.

В программу курса «Механика грунтов» для бакалавров включены лабораторные работы по определению физических и механических характеристик грунтов.

Настоящие методические указания могут быть использованы при:

- 1) подготовке и выполнении студентами лабораторных работ;
- 2) самостоятельной работе по разделам курса;
- 3) подготовке к итоговой аттестации по курсу.

При подготовке к занятию студент должен изучить весь текст описания лабораторной работы, составить краткий конспект и подготовить журнал испытаний для записи результатов опытов.

Перед началом работ необходимо ознакомиться с методическими указаниями, разобраться в устройстве применяемых приборов и оборудования и убедиться в их исправности.

При выполнении лабораторных учебно-исследовательских работ студент должен иметь при себе тетрадь с подготовленным журналом испытаний, калькулятор и канцелярские принадлежности (ручка, карандаш, линейка и т.п.), необходимые для обработки результатов определения и построения графиков. Выполнение работы сопровождается записями в журнал исходных данных, результатов опытов, соответствующими расчетами и графическими построениями. Работа выполняется под контролем преподавателя. В конце каждого занятия студент оформляет отчет по выполненной работе и представляет его преподавателю. В отчете должны быть отражены следующие сведения:

- основные понятия об определяемых характеристиках;
- практическое значение характеристик и классификаций, в которых они используются;
- принцип методики выполнения работы;
- краткое описание используемого оборудования, дополненное в необходимых случаях схемами приборов и пояснениями;
- цифровой материал проведенных опытов, представляемых в виде журнала испытаний;
- графическая и прочая обработка полученных результатов.

Студент при защите лабораторных работ должен знать цель каждой лабораторной работы, нарисовать схему прибора, изложить последовательность выполнения работы и методику обработки опытных данных, построить графики, отображающие полученные зависимости, и объяснить, как определяются соответствующие физические и механические характеристики грунтов и для каких дальнейших расчетов они используются.

Лабораторные работы прививают умение применять теоретические знания при проведении экспериментов, обдумывать результаты опытов, методически правильно подходить к их выполнению и избегать ошибок при измерениях. Нельзя приступать к выполнению работ без четкого представления о теоретических основах изучаемого явления.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ

Механика грунтов – это научная дисциплина, в которой изучаются структура, состав и характеристики грунтов, напряженно-деформированное состояние грунтов и грунтовых массивов, условия прочности грунтов, давление на ограждения, устойчивость грунтовых массивов против сползания и разрушения, взаимодействие грунтовых массивов с сооружениями и ряд других вопросов.

Механика грунтов решает *задачи* прогноза механического поведения грунтов и грунтовых массивов. Для этого производятся:

- установление физических и механических свойств грунтов и возможности их использования в нужных целях, а в случае необходимости, и улучшение строительных свойств грунтов;
- определение напряженно-деформированного состояния грунтовых массивов и возможного его изменения в последующем;
- определение общей устойчивости массивов грунта, взаимодействующих с инженерными сооружениями, или непосредственно устойчивости их самих, если они являются сооружениями.

Таким образом, основная задача механики грунтов – это оценка состояния в настоящий момент и прогноз дальнейшего поведения грунтов и массивов из них, а также прогноз происходящих в них процессов [6].

Грунтами называют любые горные породы коры выветривания земли – сыпучие или связные, прочность связей у которых между частицами во много раз меньше, чем прочность самих минеральных частиц, или связи между частицами отсутствуют вовсе. Есть и другое определение грунтов.

Грунтом называется любая горная порода, используемая в качестве *основания* зданий и сооружений, *среды*, в которой сооружение возводится (трубы, подземные сооружения, тоннели, станции метрополитена и др.), или *материала* для сооружения (насыпи, земляные плотины, сырье для изготовления стройматериалов).

Основанием называется массив грунта, который находится непосредственно под сооружением и рядом с ним и деформируется от усилий, передаваемых посредством фундаментов. *Естественным основанием* называют грунты, используемые без улучшения и изменения их строительных свойств. *Искусственным основанием* называют грунтовые условия, когда строительные свойства грунтов преднамеренно улучшены с целью уменьшения сжимаемости грунтов, увеличения их прочности, изменения водопроницаемости и др. Основания, созданные искусственно уложенными грунтами в результате отсыпки с уплотнением или намыва, также называются искусственными.

Грунты образуются из:

- первичных минералов (кварц, полевые шпаты, слюда и др.);

- вторичных глинистых минералов (монтмориллонит, каолинит), образовавшихся в процессе выветривания горных пород;
- солей (сульфаты, карбонаты);
- органических веществ.

Грунт представляет собой *трехфазную систему*, состоящую из:

- твердых частиц;
- воды в различных видах и состояниях (в том числе льда при нулевой или отрицательной температуре грунта);
- газов (в том числе и воздуха).

Вода и газы находятся в порах между твердыми частицами (минеральными и органическими). Вода может содержать растворенные в ней газы, а газы могут содержать пары воды.

Размер, форма и количественное соотношение слагающих породу частиц определяют *структуру* грунта. Пространственное расположение элементов определяет *текстуру* грунта.

1.1. Составные части грунтов

В процессе взаимодействия грунтов с инженерными сооружениями имеют значение *составные части грунтов: твердая минеральная и органическая, газообразная, виды влаги*.

Минеральная составляющая имеет ведущее значение для обеспечения прочности и стойкости горных пород как грунтов. *Первичные* силикатные *минералы* и окислы кремния (кварц, полевые шпаты, халцедон) составляют скелет любого грунта. Все окислы и гидроокислы кремния и железа определяют прочность, жесткость грунтов. *Вторичные минералы* – глинистые (влагоемкие, пластичные) и растворимые в воде соли (сульфаты, карбонаты, хлориды) – делают грунты неустойчивыми. Силикаты магнезиально-железистые (глауконит, биотит, роговая обманка) легко преобразуются в атмосфере, выветриваются, разлагаются при взаимодействии с горячими растворами.

Органическая составляющая встречается в речных старичных и, реже, в элювиальных образованиях, в том числе в почвах, в количестве 10-20 % по массе в различном виде: в виде неразложившихся отмерших растений (стебли, основы листьев), полностью разложившегося вязкого черного вещества – *гумуса*, составляющего до 80 % от общего количества органики. Гумус состоит из гуминовых кислот, фульвокислот, гумусовых углей (по своему составу это органические кислоты, состоящие из углерода, азота, кислорода и водорода). Гуминовые кислоты микропористые, губчатые, хорошо удерживают влагу. Фульвокислоты способствуют разложению окислов.

Относительное содержание органического вещества в грунтах $I_{от}$ в торфе более 0,5, он сжимается под нагрузкой на 50 %, $I_{от}$ в заторфованных грунтах изменяется от 0,03 до 0,5, и они сильно и неравномерно сжимаемые. Содержание гумуса в песке более 3 % делает его водонепроницаемым, снижает водоотдачу, а глины становятся неразмокаемыми.

Газообразная составляющая – в грунтах находятся газы в состояниях: свободном, адсорбированном и защемленном. По происхождению различают атмосферные газы (O_2 , CO_2 , N, H), биохимические газы (метан CH_4 , сероводород H_2S), образующиеся в болотах, морях, дельтах рек в илистых отложениях. Биохимические газы поддерживают грунты в разрыхленном подвижном состоянии и препятствуют уплотнению (плывуны).

Свободные газы находятся в порах и трещинах грунтов, непроницаемыми для них являются пустоты с диаметром менее 0,002 мм или заполненные водой. Они легко удаляются из грунта, растворяются подземными водами, незначительно меняют их химический состав.

Адсорбированные газы накапливаются в виде пузырьков на поверхности частиц сухих грунтов, чаще песчаных, легко растворяются в воде, при влажности 5-10 % полностью вытесняются водными пленками, опасности не представляют.

Защемленные газы – наиболее опасное состояние газов и паров воды в грунтах, возникающее при сильном дожде, поливе территории, сплошном покрытии грунтовых толщ при застройке или асфальтировании. Защемление газов происходит между уровнем грунтовых вод и просачивающейся с поверхности земли влаги, чаще всего в плохо уплотненных насыпях, в виде карманов, линз. Давление защемленного газа достигает 200 МПа, грунт становится упругим, несжимаемым, ухудшается водопроницаемость. Прорыв газов возможен в результате перегрузок или при земляных работах и имеет характер взрыва.

Виды влаги по характеру взаимодействия с поверхностью частиц грунта различают следующие:

Химически связанная влага входит в состав минералов:

- *конституционная* – в виде группы OH, например в каолините $Al_2[OH]_2Si_2O_5$, при температуре от 300-1000 °C удаляется влага и разрушается структура минерала;

- *кристаллизационная* – входит в кристаллическую решетку, например, минерала гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, удаляется в условиях атмосферы с уменьшением объема, образуется ангидрит $CaSO_4$, при поступлении влаги происходит обратный процесс;

- *цеолитная* – часть кристаллизационной воды, которая может выделяться и вновь поглощаться без разрушения кристаллической решетки минерала. Например, у минералов опал $SiO_2 \cdot nH_2O$ и халцедон SiO_2 твер-

дость соответственно изменяется от 5,5 до 7,0, в зависимости от содержания влаги.

Физически связанная влага с поверхностью частиц грунта связана молекулярными и ионно-электростатическими силами.

- *Гигроскопическая, или прочносвязанная*, удаляется при температурах 90-300 °С в зависимости от состава катионов от Na^+ к Ca^+ или при давлении 20-50 МПа. Её плотность составляет 1,1-1,7 г/см³, не усваивается растениями, не является растворителем, вязкая и упругая, не замерзает до температуры –78°С. Давление, под которым гигроскопическая влага находится в грунте, достигает 10 000 атмосфер. При связывании этой влаги образуется пленка в толщину молекулы воды и выделяется теплота смачивания, причем влага перемещается к частицам с энергетически сильными катионами, например к Са, Mg.

Количество гигроскопической влаги, или *гигроскопическая влагоемкость* w_h , в мелких песках составляет 0,5-4,0 %, в глинах – 6-18 %, в монтмориллонитовых глинах – до 20 %, а в слюдистых, мусковитовых – до 30 %. При максимальных значениях w_h грунт теряет прочность.

- *Пленочная, или рыхлосвязанная*, облекает частицы в виде пленок разной толщины, перемещается от частиц с толстыми пленками к частицам с тонкими, как удерживается силами электростатического притяжения, так и отталкивается за счет сил смачивания (расклинивающее действие). С повышением температуры от 20 градусов это движение ускоряется. Плотность влаги 1,1 г/см³, температура замерзания от –1,5 до –4,0°С.

Суммарное содержание всех видов прочносвязанной и пленочной влаги составляет влажность, называемую *максимальной молекулярной влагоемкостью* грунтов $w_{\text{ммв}}$. В грубых песках 1-2 %, в мелких – до 5 %, в суглинках пылеватых и илистых грунтах – до 10-20 %, в глинах – до 45 %, в монтмориллонитовых глинах – до 135 %.

Физически связанная влага определяет водные, или гидрогеологические, свойства грунтов: *влагоемкость, водоотдачу, набухание, пластичность, липкость, водопроницаемость, водостойкость, сжимаемость*.

Свободная влага по характеру движения может быть гравитационной, или собственно свободной, и капиллярной.

- *Гравитационная влага* перемещается по порам и трещинам под действием силы тяжести, оказывает гидродинамическое или гидростатическое давление на грунты (*псевдоплывуны*) и подземные части сооружений. В процессе движения происходит внутренний размыв дисперсных грунтов, или *механическая суффозия*. В растворимых породах (гипс, ангидрит, известняк, доломит, каменная соль) наблюдается вынос веществ – *химическая суффозия*. При снижении скорости движения пустоты заполняются привносимым водой материалом – *кольматация*.

- *Капиллярная* влага поднимается против силы тяжести по порам диаметром 0,002-0,05 мм под действием сил менискового натяжения и энергии теплоты смачивания. Над уровнем грунтовых вод в массиве образуется *капиллярная кайма*, высота подъема, или мощность, h_c в песках составляет 15-50 мм, в супесях – до 1,5 м, в суглинках – 2-3 м, в глинах – до 4-5 м. Капиллярная влага способствует *морозному пучению* за счет постоянного подсоса подземных вод к зоне промерзания и *засолению* грунтов при положении верхней границы каймы выше поверхности земли, а также определяет сырость в подвалах зданий. Капиллярная вода может передвигаться за счет разности температур от холода к теплу, растворять и переносить соли, при испарении воды эти соли кристаллизуются и разрушают структуру грунтов и строительных материалов.

Максимально возможное содержание в грунте связанной, капиллярной и гравитационной воды при полном заполнении пор называют *полной влагоемкостью грунта* или *влажностью полного водонасыщения* w_{sat} .

По состоянию вода в грунтах может быть твердой (лед), газообразной (пар) и жидкой, переход из одного состояния в другое изменяет структуру грунта, его объем и консистенцию [7].

1.2. Основные показатели инженерно-геологических свойств грунтов

По назначению показатели инженерно-геологических (физико-механических) свойств можно объединить в следующие группы:

- *классификационные* – используются для выделения инженерно-геологических элементов (ИГЭ), единых толщ, массивов, типов грунтов по плотности сложения, структуре, гранулометрическому составу, пластичности;

- *косвенно-расчетные* – используются для приближенной оценки деформируемости, прочности грунтов на основе корреляционной зависимости между физическими и механическими характеристиками грунтов: плотность, характерные влажности, число пластичности, коэффициент пористости, с которыми тесно связаны сцепление, угол внутреннего трения, сжимаемость грунтов под нагрузкой. Зависимость выражается в виде уравнений и номограмм;

- *прямые расчетные* – характеристики, определяемые опытным путем в компрессионных, сдвиговых приборах, в стабилометрах или в массиве грунтов на строительной площадке (испытания штампами, срез целиков в шурфах, испытание свай, зондирование, прессиометрия и т.д.): модуль деформации, коэффициент сжимаемости, угол внутреннего трения и удельное сцепление. Показатели используются в расчетных формулах при проектировании оснований и фундаментов;

- *специфические* – показатели, свойственные определенным грунтам или в особых условиях: относительная просадочность, коэффициенты набухания, морозного пучения, давления набухания, коэффициент размягчаемости и т.д.

Состав показателей зависит от класса грунта, от стадии изысканий (проектирования) и от категории сооружений [7].

1.3. Инженерно-геологическая классификация

Классификация грунтов необходима для объективного присвоения грунту наименования и установления его состояния. Наименование и состояние грунта устанавливаются по классификационным показателям.

Цели создания классификации:

- обеспечение выбора методик лабораторных и полевых исследований;
- определение критериев показателей свойств для выделения типичных разновидностей грунтов при изображении на картах, разрезах;
- оценка поведения грунтов при взаимодействии с проектируемым сооружением.

Классификации разработаны в трудах инженеров-геологов: Ф.П. Саваренского (1937), В.А. Приклонского (1943), Н.В. Коломенского (1951), Н.Н. Маслова (1954), П.Н. Панюкова (1956) и др. Совершенствование единой классификации грунтов проведено рабочей группой, созданной оргкомитетом «Совещание по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения» (1957), в составе ее вошли Е.М. Сергеев, В.А. Приклонский, П.Н. Панюков и Л.Д. Белый. Инженерно-геологическая классификация связывает петрографо-генетические типы пород с их строительными, или инженерно-геологическими (физико-механическими), свойствами.

Сформулировано пять групп признаков, положенных в основу инженерно-геологической классификации грунтов:

- геологические – возраст, генезис, условия залегания;
- химико-петрографические – вещественный и зерновой состав;
- физическое состояние – структура, текстура, водонасыщенность;
- стойкость к внешним воздействиям атмосферы, биосферы, гидросферы;
- механические свойства – деформационные и прочностные характеристики;

Инженерно-геологические свойства грунтов обусловлены прежде всего внутренними связями между частицами, ионами грунта: кристаллические, химические, ионно-электростатические, электрические, молекулярные и пр.

Связи жесткие необратимые – кристаллизационные, цементационные – обусловлены происхождением породы. Горные породы ведут себя как твердые тела. Оценка должна даваться для массива (скальные грунты) или для отдельных блоков, глыб, когда массив ослаблен трещинами выветривания или тектоническими (полускальные грунты).

Связи мягкие обратимые – водно-коллоидные, возникающие в глинистых грунтах при взаимодействии с водой. При высыхании в глинах образуются молекулярные, ионные связи и глинистый грунт приобретает свойства твердого тела. При увлажнении возникают мягкие связи, электростатические по природе, основанные на взаимодействии отрицательно заряженных коллоидных частиц с диполями молекул воды.

Связи электрические – возникают в сухих сыпучих грунтах.

Связи особые – возникают при склеивании битумом, при силикатизации, гудронировании, цементации, полимеризации, замораживании и искусственном уплотнении грунтов .

Связи отсутствуют – грунты обломочные, сыпучие, раздельнозернистые.

По ГОСТ 25100–2011 приняты следующие таксономические единицы (подразделения), выделяемые по группам признаков:

- *класс (подкласс)* – по природе структурных связей;
- *тип (подтип)* – по генезису;
- *вид (подвид)* – по вещественному, петрографическому или литологическому составу;
- *разновидности* – по количественным показателям состава, строения, состояния и свойств грунтов.

В инженерно-геологической классификации приняты следующие подразделения:

- *класс* – по характеру и природе связей;
- *группа* – по происхождению (генезис первого порядка – по типам происхождения пород: магматический, метаморфический, осадочный, смешанный);
- *подгруппа* – по условиям формирования (генезис второго порядка – для магматических: глубинные и излившиеся породы, разные по составу; для осадочных – обломочные, хемогенные и органогенные; для метаморфических – породы регионального и контактного преобразования);
- *тип* – по петрографическому, гранулометрическому составу, числу пластичности;
- *вид* – по структуре, текстуре, составу цемента, относительному содержанию органики, степени уплотнения от собственного веса;
- *разновидности* – по физическим, физико-механическим, химическим свойствам, по состоянию: *степень трещиноватости, выветрелости, влажности, водонасыщенности.*

ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация

1. Класс скальных грунтов – грунты с жесткими структурными связями.

2. Класс дисперсных грунтов – грунты с физическими, физико-химическими или механическими структурными связями.

3. Класс мерзлых грунтов – грунты данного класса наряду с другими структурными связями обладают криогенными связями.

1.4. Характеристика инженерно-геологических классов грунтов

Класс I. Скальные грунты

Твердые компактные породы с жесткими кристаллизационными, цементационными связями, водостойкие, водонепроницаемые, стойкие к выветриванию, прочные и очень прочные. *Предел прочности на одноосное сжатие* R_c , МПа, – отношение вертикальной нагрузки, при которой происходит разрушение образца, к площади первоначального поперечного сечения. R_c изменяется от 5 до 120 МПа и более. В выемках грунты держат откосы прямого сечения, разработка проводится взрывными методами.

К скальным грунтам относят магматические, метаморфические, осадочные монолитные, залегающие в виде мощных толщ, сцементированные на прочных цементах и хемогенные плотные породы. Они обычно представляют собой *прочное и надежное основание*. Скальные грунты неразмягчаемые в воде – *коэффициент размягчаемости* $K_{sof} \geq 0,75$ (определяется как отношение пределов прочности на сжатие грунта в водонасыщенном и в воздушно-сухом состоянии), неветрелые или слабоветрелые – *коэффициент выветрелости* K_{wr} изменяется от 0,9–1,0 (определяется как отношение плотности выветрелого грунта к плотности монолитного).

Класс II. Полускальные грунты

Относительно твердые породы с жесткими связями в отдельных блоках, малопрочные ($1 < R_c < 5$) МПа, неводостойкие ($K_{sof} < 0,75$), слабо или сильноводопроницаемые, средне- и сильноветрелые ($K_{wr} < 0,8–0,9$). В выемках могут осыпаться, а разработка возможна механическим способом, в зависимости от степени трещиноватости.

К полускальным грунтам относят все скальные, но ослабленные тектоническими трещинами и трещинами выветривания, пористые, кавернозные, а также способные к выщелачиванию и растворению водой осадочные породы. Например, сульфатные породы (гипс, ангидрит), карбонатные (известняки-ракушечники, известковые туфы, мергели), обломочные породы на слабых цементах, кремнистые органогенные (опоки, трепелы),

вулканические туфы, глинистые сланцы. Они подвержены также быстрому выветриванию в обнажениях выемок, котлованов, выработок.

Некоторые породы снижают прочность при водонасыщении или даже растворяются в воде – выщелачиваются.

Класс III. Нескальные несвязные грунты

Дисперсные (раздельнозернистые) сыпучие рыхлые обломочные грунты – продукты физического выветривания скальных пород, прочность определяется силами внутреннего трения. Водопроницаемые, хорошо фильтруют воду, обладают высокой водоотдачей. К ним относятся континентальные (элювиального, делювиального, аллювиального генезиса) и морские сыпучие отложения.

По размеру обломков выделяют две группы: 1) *крупнообломочные, или псефиты*, – частиц в поперечнике более 2 мм содержится свыше 50 %; 2) *среднеобломочные, или песчаные*, – частиц в поперечнике от 2 до 0,1 мм – от 25 до 75 %. Содержание глинистой фракции для песчаных грунтов должно быть менее 3 %.

Несвязные грунты практически не уплотняются при статической нагрузке, но дают осадку при динамическом воздействии, т.е. при встряске, вибрации. Степень уплотнения зависит от однородности, размеров и окатанности частиц грунта. Свойства указанных грунтов определяются минералогическим и гранулометрическим составами и состоянием по плотности сложения. Для некоторых разновидностей (мелкие и пылеватые пески) имеет значение также степень заполнения пор водой.

Гранулометрический состав – количественное соотношение частиц различной крупности в дисперсных грунтах, определяется по ГОСТ 12536–79.

Степень неоднородности гранулометрического состава, или *коэффициент неоднородности*, C_u находят по формуле $C_u = d_{60} / d_{10}$, где d_{60} , d_{10} – диаметры частиц в мм, меньше которых в грунте содержится соответственно 60 и 10 % (по массе) частиц.

| Разновидность грунтов | Степень неоднородности гранулометрического состава C_u , д. е. |
|-----------------------|--|
| Однородный грунт | $C_u \leq 3$ |
| Неоднородный грунт | $C_u > 3$ |

Плотные крупнообломочные и песчаные грунты являются обычно надежным основанием сооружений. Однако рыхлые пески интенсивно уплотняются при динамических воздействиях.

| Разновидность песков | Коэффициент пористости e , д.е. | | |
|----------------------|--|----------------------|----------------------|
| | Пески гравелистые, крупные и средней крупности | Пески мелкие | Пески пылеватые |
| Плотный | $e \leq 0,55$ | $e \leq 0,60$ | $e \leq 0,60$ |
| Средней плотности | $0,55 < e \leq 0,70$ | $0,60 < e \leq 0,75$ | $0,60 < e \leq 0,80$ |
| Рыхлый | $e > 0,70$ | $e > 0,75$ | $e > 0,80$ |

Более объективно плотность сложения по коэффициенту пористости e можно установить, если данный грунт подвергнуть максимально рыхлой укладке и максимально плотной, определив соответственно e_{\max} и e_{\min} . Тогда, зная e для естественного сложения, можно определить относительную плотность, или степень плотности, I_D :

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

При $0 < I_D \leq 0,33$ – песок слабоуплотненный (рыхлый); при $0,33 < I_D \leq 0,66$ – средней плотности и при $0,66 < I_D \leq 1$ – сильноуплотненный (плотный).

Наиболее надежно плотность устанавливается статическим или динамическим зондированием.

Для крупнообломочных, песчаных грунтов, особенно мелких и пылеватых, на строительные свойства влияет коэффициент водонасыщения S_r . В зависимости от S_r пески разделяются на маловлажные, влажные и водонасыщенные.

| Разновидность грунтов | Коэффициент водонасыщения S_r , д. е. |
|---|---|
| Малой степени водонасыщения (маловлажные) | $0 < S_r \leq 0,5$ |
| Средней степени водонасыщения (влажные) | $0,5 < S_r \leq 0,8$ |
| Водонасыщенные | $0,8 < S_r \leq 1$ |

Класс IV. Нескальные связные грунты

Пылевато-глинистые грунты – продукт физического и химического выветривания горных пород.

Мягкие пластичные с водно-коллоидными связями ионно-электростатической природы, к ним относятся все глинистые грунты. Согласно ГОСТу, связные грунты подразделяют по числу пластичности I_p на: глины, суглинки, супеси.

| Разновидность грунтов | Чисто пластичности I_p , % |
|-----------------------|------------------------------|
| Супесь | $1 \leq I_p < 7$ |
| Суглинок | $7 \leq I_p < 17$ |
| Глина | $I_p > 17$ |

Пластичность этих грунтов зависит от содержания глинистых частиц (менее 0,005 мм), минерального состава глин и содержания катионов. В зависимости от содержания глинистой фракции их подразделяют на супеси (3–10 %), суглинки (10–30 %) и глины (> 30 %).

Состояние (консистенция) глинистого грунта, или *показатель текучести* I_L , определяется содержанием влаги: для супесей – твердое, пластичное, текучее; для суглинков и глин – твердое, полутвердое, тугопластичное, пластичное, мягкопластичное, текучее.

| Разновидность грунтов | Показатель текучести I_L , д. е. |
|--------------------------|------------------------------------|
| <i>Супесь:</i> | |
| – твердая | $I_L < 0$ |
| – пластичная | $0 \leq I_L \leq 1,00$ |
| – текучая | $I_L > 1,00$ |
| <i>Суглинки и глины:</i> | |
| – твердые | $I_L < 0$ |
| – полутвердые | $0 \leq I_L \leq 0,25$ |
| – тугопластичные | $0,25 < I_L \leq 0,50$ |
| – мягкопластичные | $0,50 < I_L \leq 0,75$ |
| – текучепластичные | $0,75 < I_L \leq 1,00$ |
| – текучие | $I_L > 1,00$ |

Свойства этих грунтов определяются минералогическим и гранулометрическим составом и содержанием воды, т.е. влажностью. Для них характерны такие свойства, как набухание, размокание, липкость, усадка.

Деформируемость связных грунтов во многом определяется минеральным составом грунта, плотностью сложения, степенью влажности S_r . Они сжимаются неравномерно и значительно, уплотняясь под нагрузкой во времени.

Модуль деформации E изменяется от 1 до 5 МПа у водонасыщенных разностей – очень сильно деформируемый грунт. Если E изменяется от 5 до 10 МПа – сильнодеформируемый грунт, а при $E=10-50$ МПа у мало-влажных разностей – среднедеформируемый грунт. Некоторые глины и суглинки, особенно переуплотненные моренные (ледниковые), характеризуются значительным постоянством механических свойств; E достигает 50 МПа и выше (слабдеформируемый грунт).

Прочность связных грунтов характеризуется *углом внутреннего трения φ , град*, и *удельным сцеплением c , МПа*.

Большое значение при оценке строительных свойств имеют заторфованность, засоленность грунтов, просадочность, способность к набуханию и усадке, морозному пучению.

Класс V. Грунты с особыми связями

Природные и искусственные образования, имеющие сложные связи, крайне изменчивые по свойствам. К данному классу относят мерзлые грунты, илы и заторфованные образования, солончаки, лёссы, лессовидные грунты, почвы и большую группу техногенных грунтов: культурный слой городов, насыпные и намывные, уплотненные трамбованием, закрепленные различными составами грунты.

Поведение особых грунтов в сфере влияния сооружений трудно прогнозировать, слои невыдержаны в залегании и по составу, как по площади, так и с глубиной. Объем инженерно-геологических исследований на таких грунтах резко возрастает. Определяющим свойством грунтов этой группы является их структурная неустойчивость. Указанное обусловлено способностью структурных связей быстро разрушаться при воздействиях, нехарактерных для обычных условий формирования и существования таких грунтов. При этом грунтовое основание получает большие по величине и быстро протекающие осадки, называемые просадками. Соответственно грунты этой группы характеризуются как просадочные [7].

2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ

В механике грунтов для оценки напряженно-деформируемого состояния основания выполняют расчеты по двум группам предельных состояний. По прочности (первая) и деформациям (вторая). Указанные расчеты выполняются с использованием физических и механических характеристик грунтового основания.

2.1. Физические характеристики

В механике грунтов используются следующие основные физические характеристики, определяемые опытным путем:

- плотность грунта ρ , т/м³;
- плотность частиц грунта ρ_s , т/м³;
- природная влажность W , д.е или %.

По этим основным физическим характеристикам рассчитывают производные показатели:

- плотность сухого грунта ρ_d , т/м³;
- пористость n ;
- коэффициент пористости e ;
- степень влажности S_r , д.е.

В расчетах часто используются не плотности, а удельные веса, рассчитываемые умножением плотности на ускорение свободного падения.

Для глинистых грунтов наряду с влажностью важным является понятие консистенции, характеризующее состояние грунта. Консистенция может быть твердой, пластичной и текучей. Определяется показателем текучести I_L . Влажности, соответствующие границам между этими состояниями, называются пределами пластичности, или раскатывания, W_p (граница между твердым и пластичным состояниями) и текучести W_L (между пластичным и текучим).

Разность этих пределов называется числом пластичности I_p , по которому определяется наименование пылевато-глинистого грунта.

2.2. Механические характеристики

Взаимодействие компонентов грунта, их соотношение, свойства и состояние на различных этапах эксплуатации определяют физико-механические характеристики грунтов. Физические характеристики грунтов отражают свойства грунтов в естественном состоянии и позволяют оценить их состояние. Механические характеристики грунтов позволяют определить условия работы грунтового основания под нагрузкой и оценить их сопротивление деформированию и разрушению.

При действии нагрузки от сооружения в основании возникают напряжения, что приводит к уплотнению грунта за счет изменения объема пор и к возникновению деформаций. Изменение пористости грунта под нагрузкой определяется деформационными характеристиками, знание которых позволяет определить осадку здания.

По мере увеличения нагрузки в грунте возникают и нарастают касательные напряжения, что обуславливает формирование пластических зон в виде сдвига частиц, которые могут привести к разрушению грунта. Прочность грунта определяется прочностными характеристиками, которые используются при установлении предельных значений неразрушающих грунт нагрузок.

Деформационные и прочностные характеристики каждого слоя грунта определяются на основании полевых и лабораторных испытаний. В связи с этим перед началом проектирования на каждой строительной площадке проводятся инженерно-геологические изыскания. В их состав входит

бурение не менее трех скважин для каждого объекта. Расстояние между скважинами не должно превышать 50 метров. Из скважин с определенным шагом осуществляют отбор образцов ненарушенной структуры и природной влажности с целью определения в лаборатории их физических и механических характеристик.

Определение всех характеристик производится в соответствии с методиками ГОСТов. Учитывая, что грунты по своим свойствам могут быть разнородными, а также возможна погрешность при отборе образцов и при проведении лабораторных исследований, по требованию ГОСТа все характеристики вычисляют как средние из нескольких определений (не менее 6). В учебных целях нормативные характеристики устанавливаются по двум опытными определениям.

3. ОТБОР ОБРАЗЦОВ ГРУНТОВ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение многих свойств грунтов желательно проводить на образцах с ненарушенной структурой и естественной влажностью (монолиты).

Образцы грунта отбирают из защищенных участков горных выработок – шурфов, котлованов, буровых скважин и т.п. – в количестве, достаточном для проведения комплекса лабораторных испытаний, установленного программой исследований. Монолиты отбирают с помощью ножа, лопаты, режущих колец и пр. в виде куска грунта (обычно в форме куба или параллелепипеда), а также с помощью грунтоносов. Грунтоносы должны обеспечивать отбор монолитов диаметром (стороной), достаточным для вырезания образцов грунта с размерами, определяемыми оборудованием для испытаний грунта. Высота монолита должна быть не менее его диаметра. При этом следует учитывать наличие нарушенной периферийной зоны монолита, толщину которой принимают равной 3 мм для грунтов с жесткими структурными связями, 20 мм – для крупнообломочных грунтов, 10 мм – для песчаных и пылевато-глинистых грунтов с показателем текучести I_L менее 0,75, 5 мм – для пылевато-глинистых грунтов при I_L более 0,75.

Для сохранения природной влажности и структуры монолиты упаковывают в тару из коррозионно-стойких материалов (парафинированная бумага, пластмасса и т.п.). Для изоляции монолитов от воздуха применяют многократное обертывание марлей с парафинированием и с добавкой 35-50 % (по массе) гудрона.

Каждый монолит снабжается соответствующей этикеткой, в которой указываются место и дата отбора, глубина, наименование грунта. Монолиты должны быть ориентированы (отмечают верх монолита). Монолит записывается в специальный журнал и направляется в лабораторию.

Образцы нарушенной структуры возможно отбирать с помощью ножа, лопаты и буровых наконечников при бурении скважин. Для упаковки образцов нарушенного сложения применяют обычно мешочки из синтетической пленки, плотной материи или водостойкой бумаги, снабженные этикетками.

Сроки хранения монолитов (с момента отбора до начала лабораторных испытаний) не должны превышать для немерзлых грунтов с жесткими структурными связями, маловлажных песчаных, а также пылевато-глинистых грунтов твердой и полутвердой консистенции – 3 мес.; для других разновидностей немерзлых грунтов – 1,5 мес., а при температуре выше 20 °С – 10 дней.

3.1. Отбор средней пробы грунта методом квартования

Грунт рассыпается ровным слоем толщиной около 2 см на листе бумаги так, чтобы при этом образовался квадрат 20×20 см. Поверхность грунта расчерчивается прямыми линиями на 16 одинаковых ячеек (рис. 1).

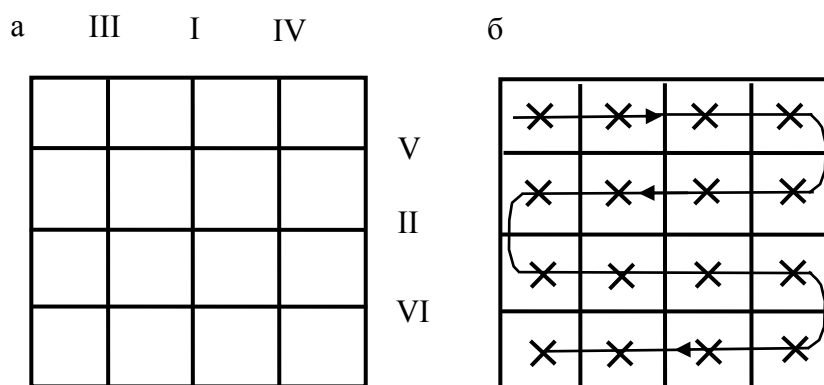


Рис. 1. Схема отбора средней пробы грунта:
а – расчерчивание образца на ячейки; б – направление обхода при отборе

Из каждой ячейки последовательно в чашку ложкой отбирается приблизительно одинаковое количество грунта с таким расчетом, чтобы в итоге набралась необходимая для проведения анализа навеска грунта.

Лабораторная работа №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА

Влажностью грунта ω называется отношение массы воды, содержащейся в объеме грунта, к массе высушенного грунта, выраженное в %.

Влажность грунта природного сложения называют естественной влажностью. В зависимости от вида грунта и характера его залегания она колеблется в широких пределах. Величина естественной влажности является очень важной характеристикой физического состояния грунтов, определяющей их несущую способность и условия работы как основания сооружений. Особое значение имеет влажность для пылевато-глинистых грунтов, резко меняющих свои свойства в зависимости от степени увлажнения. Естественная влажность является важным показателем, необходимым для вычисления плотности сухого грунта, коэффициента пористости, степени влажности и других физико-механических характеристик грунта.

Необходимое оборудование и материалы:

Стаканчики алюминиевые ВС-1 с крышками.

Весы лабораторные с разновесами.

Сушильный шкаф.

Эксикатор с хлористым кальцием.

Шпатели металлические.

Образцы грунта.

Проведение испытаний

1. Взвешивают алюминиевый стаканчик с крышкой для определения его массы m , г. В журнал определения влажности записывают данные: об образце, номер стаканчика и его массу.

2. Помещают в стаканчик пробу влажного грунта, взвешивают ее в закрытом стаканчике и определяют массу m , г. Пробу грунта для определения влажности отбирают массой 15-50 г.

3. Стаканчик открывают и вместе с крышкой помещают в сушильный шкаф. Высушивают грунт в сушильном шкафу при $t = 105$ °С до постоянной массы, т.е. разница между двумя последующими взвешиваниями должна быть не более 0,02 г. Первичное высушивание песчаных грунтов производят в течение трех часов, глинистых – пяти часов. Каждое последующее высушивание песчаных грунтов осуществляют в течение одного часа, глинистых – двух часов. Стаканчик после высушивания охлаждают в эксикаторе с хлористым кальцием до температуры помещения и взвешивают. За результат взвешивания принимают наименьшую массу стаканчика с сухим грунтом m_0 , г.

4. Влажность грунта вычисляют по формуле, %,

$$\omega = \frac{(m_1 - m_0)}{(m_0 - m)} \cdot 100, \quad (1)$$

где m – масса пустого стаканчика с крышкой, г;

m_1 – масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой, г;

m_0 – масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой, г.

5. Для каждого образца грунта производят не менее двух параллельных определений влажности. За величину влажности образца грунта принимают среднее арифметическое результатов определений. Все операции взвешивания осуществляются с точностью до 0,02 г.

Погрешность результатов параллельных определений должна быть не более величин, указанных в табл.1.

Т а б л и ц а 1

Допустимая разница Δ результатов параллельных определений

| | Влажность грунта ω , % | | | | |
|--------------|-------------------------------|-------|---------|---------|------|
| | 1-5 | >5-10 | > 10-50 | >50-100 | >100 |
| Δ , % | 0,2 | 0,6 | 2,0 | 4,0 | 5,0 |

Результаты определения влажности грунта заносятся в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Журнал определения влажности грунта

| № п/п | № стаканчика | Масса стаканчика | | | | Влажность грунта | |
|----------|-----------------|--------------------|------------------------|-----------------------------------|----------|----------------------|---------------------|
| | | пустого m , г | с грунтом m_1 , г | с высушенным грунтом m_0 , г | | отдельный образец | среднее значение |
| | | | | 1-е взв. | 2-е взв. | | |
| | | | | | | | |

Лабораторная работа № 2 МЕТОД ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА

Плотностью грунта ρ называется масса единицы объема грунта природного сложения и влажности.

Плотность грунтов, встречающихся в строительной практике, колеблется в пределах от 1,4 до 2,2 г/см³ и зависит от минералогического состава, пористости и влажности грунта. Различают плотность грунта ρ , плотность сухого грунта ρ_d и плотность частиц грунта ρ_s .

Для определения плотности грунта ρ применяют два метода: *метод режущего кольца* и *метод взвешивания в воде*. Для каждого образца грунта, независимо от способа определения плотности, проводят не менее двух ее определений. Расхождение в полученных результатах более чем на $0,03 \text{ г/см}^3$ не допускается. За плотность грунта принимают среднее арифметическое значение из результатов отдельных определений. Все операции взвешивания должны проводиться с точностью до $0,02 \text{ г}$.

Плотность грунта является важным показателем, который применяется при определении расчетного и предельного сопротивлений грунта, расчете напряжений в основаниях от собственного веса грунта, вычислении давления грунта на подпорную стенку и расчете устойчивости откосов.

1. Определение плотности грунта методом режущего кольца

Определение плотности грунта этим методом выполняется с помощью кольца-пробоотборника.

Необходимое оборудование и материалы:

Монолит грунта.

Кольцо-пробоотборник.

Насадка для вдавливания колец.

Штангенциркуль.

Стальной нож.

Весы лабораторные с разновесами.

Проведение испытаний

1. Определяют размеры режущего кольца и взвешивают его (m_0 , г) с точностью до $0,02 \text{ г}$. По результатам измерений вычисляют объем кольца с точностью до $0,1 \text{ см}^3$ по формуле

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}. \quad (2)$$

Внутренний диаметр d и высоту кольца h измеряют с погрешностью не более $0,1 \text{ мм}$.

2. Монолит грунта вскрывают путем удаления парафиновой заливки с торца цилиндра и зачищают верхнюю плоскость образца грунта ножом.

3. На зачищенную поверхность грунта ставят кольцо острым краем вниз. Насадкой слегка нажимают сверху на кольцо, насаживая его на столбик грунта. Не допуская перекоса кольца, погружают его в грунт до полного заполнения.

4. Срезают избыток грунта, зачищают его поверхность в уровень с краем кольца. Мелкие раковины шпаклюются грунтом без нажима (рис.2).

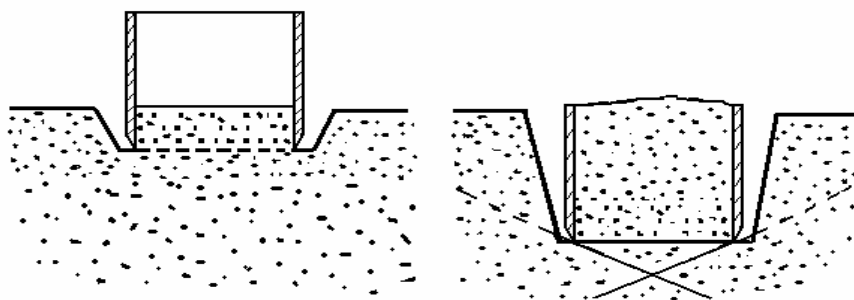


Рис. 2. Определение плотности грунта методом режущего кольца

5. Кольцо с грунтом взвешивают (m_1 , г). Плотность грунта вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (3)$$

где $m = m_1 - m_0$.

Результаты определения плотности грунта заносят в табл.3.

Т а б л и ц а 3

Журнал определения плотности грунта методом режущего кольца

| № п/п | Объем грунта V , см ³ | Масса кольца m_0 , г | Масса кольца с грунтом m_1 , г | Масса грунта m , г | Плотность грунта ρ , г/см ³ | |
|-------|------------------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------|---|------------------|
| | | | | | отдельный образец | среднее значение |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | | | | | | |

2. Определение плотности грунта методом взвешивания в воде

Этот метод применяют для связных грунтов, трудно поддающихся вырезке или склонных к крошению.

Необходимое оборудование и материалы:

Образец грунта.

Нож.

Лабораторные весы с разновесами.

Стеклянный сосуд для воды, подставка, термометр, игла, нить, парафин, вода дистиллированная.

Проведение испытаний

1. Образец грунта объемом не менее 50 см³ обрезают ножом, придавая ему овальную форму, и определяют его массу m , г.

2. Обвязывают образец ниткой и покрывают парафиновой оболочкой, погружая его на 2-3 секунды в парафин, нагретый до температуры не-

сколько выше точки его плавления (57-60 °С). Пузырьки воздуха, обнаруженные в застывшей парафиновой оболочке, удаляют, прокалывая над ними оболочку и заглаживая место прокола нагретой иглой. Эту операцию повторяют до образования на образце плотной парафиновой оболочки; охлажденный запарафинированный образец взвешивают (m_1 , г).

3. Запарафинированный образец грунта взвешивают в сосуде с водой (m_2 , г). Для этого устанавливают над чашей весов на подставке этот сосуд так, чтобы масса его не передавалась на коромысло весов, делают из нити петлю и надевают на коромысло весов. Длина нити должна обеспечивать полное погружение образца в воду. Все взвешивания производят с точностью до 0,02 г.

4. Вынимают парафинированный образец, вытирают его фильтровальной бумагой и еще раз взвешивают для того, чтобы проверить, не проникла ли вода внутрь оболочки. Если обнаружится приращение массы более чем на 0,02 г по сравнению с первоначальной массой парафинированного образца, он забраковывается.

Плотность грунта, ρ , г/см³, вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_p \cdot \rho_\omega}{\rho_p \cdot (m_1 - m_2) - \rho_\omega (m_1 - m)}, \quad (4)$$

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

ρ_ω – плотность воды, принимаемая равной 1,0 г/см³ (или уточняется по справочной табл.4 в зависимости от температуры испытания).

Т а б л и ц а 4

Плотность воды при различных температурах

| Температура, °С | Плотность, г/см ³ | Температура, °С | Плотность, г/см ³ |
|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| 0-12 | 1,000 | 24-27 | 0,997 |
| 12-18 | 0,999 | 28-30 | 0,996 |
| 19-23 | 0,998 | 31-33 | 0,995 |

Результаты определения плотности грунта заносят в табл.5. Допустимая разница Δ , %, результатов параллельных определений плотности для песчаных грунтов составляет 0,04 г/см³, для пылевато-глинистых – 0,03 г/см³.

Т а б л и ц а 5

Журнал определения плотности грунта методом взвешивания в воде парафинированных образцов

| № п/п | Масса грунта | | | | Плотность грунта ρ , г/см ³ | |
|-------|----------------------------|--|------------------------------------|---|---|------------------|
| | до парафинирования m , г | с парафинированной оболочкой m_1 , г | парафинированного в воде m_2 , г | контрольное взвешивание парафинированного образца | отдельный образец | среднее значение |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ ГРУНТА

Плотностью частиц грунта ρ_s называется масса единицы объема твердых (скелетных) частиц грунта. Она зависит от минералогического состава и изменяется в узких пределах: от 2,63 до 2,72 г/см³. Плотность частиц грунта определяется с помощью *пикнометра*. При этом в некоторых засоленных грунтах могут раствориться простые соли, в результате чего получаются заниженные значения этого показателя. Поэтому для определения плотности частиц незасоленных грунтов применяют дистиллированную воду, а засоленных – нейтральную жидкость (например керосин).

Необходимое оборудование и материалы:

Весы лабораторные с разновесами.

Пикнометры емкостью не менее 100 см³.

Воронка, капельница, фильтровальная бумага, дистиллированная вода.

Фарфоровая ступка с пестиком, набор сит.

Песчаная баня, образцы грунта.

Все операции взвешивания выполняются с точностью до 0,02 г. Для каждого образца производят два параллельных определения плотности частиц грунта. Расхождение между результатами допускается на 0,02 г/см³ при значении $\rho_s < 2,75$ г/см³ и 0,03 г/см³ при $\rho_s \geq 2,75$ г/см³. За величину ρ_s , г/см³, принимают среднеарифметическое значение.

Подготовка образца грунта

1. Образец грунта в воздушно-сухом состоянии размельчают в фарфоровой ступке; отбирают методом квартования среднюю пробу массой 100-200 г и просеивают ее сквозь сито с сеткой № 2; остаток на сите после просева переносят в фарфоровую ступку, дробят и затем просеивают сквозь то же сито.

2. Из средней пробы берут навеску; массу навески принимают из расчета примерно 15 г на каждые 100 мл емкости пикнометра и высушивают до постоянной массы. Допускается использовать грунт в воздушно-сухом состоянии, определив его гигроскопическую влажность.

3. Дистиллированную воду следует прокипятить в течение 1 часа и хранить в закупоренной бутылки.

Проведение определения

1. Взвешивают сухой чистый пикнометр (m , г).

2. С помощью воронки переносят взятую навеску грунта в пикнометр.

Пикнометр с грунтом m_1 , г, взвешивают, вычитая из массы пикнометра с грунтом массу пикнометра. Определяют массу введенного в пикнометр грунта в воздушно-сухом состоянии ($m_1 - m$), г; вносят поправку на гигроскопическую воду и вычисляют массу сухого грунта m_0 по формуле

$$m_0 = \frac{m_1 - m}{1 + 0,01 \cdot \omega_g}, \quad (5)$$

где m_0 – масса навески грунта в пикнометре, г;

ω_g – гигроскопическая влажность грунта, % (≈ 2 %).

3. В пикнометр наливают дистиллированную воду примерно на 1/3 его емкости. Взбалтывают в нем суспензию и кипятят на песчаной бане (для удаления адсорбированного воздуха и расчленения агрегатов пылевато-глинистого грунта). Кипячение производят в течение 30 минут (считая с момента закипания) для песков и супесей и в течение часа – для суглинков и глин.

4. Охлаждают пикнометр с суспензией до комнатной температуры и доливают в него дистиллированную воду до мерной черты к нижнему уровню мениска, используя капельницу. Вытирают пикнометр папиросной бумагой и взвешивают его с суспензией (m_2 , г).

5. Выливают из пикнометра суспензию, промывают, заполняют дистиллированной водой до мерной черты и, протерев, взвешивают (m_3 , г). Величину плотности частиц грунта вычисляют по формуле

$$\rho_s = \frac{m_0}{m_0 + m_3 - m_2} \cdot \rho_w, \quad (6)$$

где m_0 – масса навески сухого грунта, г;

m_3 – масса пикнометра с водой и грунтом после кипячения при температуре испытания, г;

m_2 – масса пикнометра с водой при той же температуре, г;

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

Производят параллельно не менее двух определений. За величину ρ_s принимают среднеарифметическое значение.

Результаты определения плотности частиц грунта заносят в табл.6.

Т а б л и ц а 6

Журнал определения плотности частиц грунта
пикнометрическим методом

| № п/п | Номер пикнометра | Масса пикнометра | | Масса сухого грунта m_0 , г | Масса пикнометра с грунтом и водой m_2 , г | Масса пикнометра с водой m_3 , г | Температура воды t , °С | Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³ | |
|-------|------------------|------------------|---------------------|-------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------|--|------------------|
| | | сухого m , г | с грунтом m_1 , г | | | | | отдельный образец | среднее значение |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | | | | | | | | | |

Лабораторная работа № 4

МЕТОД ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СЛОЖЕНИЯ ПЕСКА

Плотность сложения определяется для сыпучих (песчаных) грунтов и может быть оценена через коэффициент пористости [5].

По плотности сложения песчаные грунты подразделяются на плотные, средней плотности и рыхлые.

Плотность сложения песка в большой степени влияет на его строительные свойства, деформативность, водопроницаемость и т.д. Так, например, если песок находится в рыхлом состоянии, то он может быть использован в качестве основания только после его уплотнения или закрепления.

Опыт проводим с песком средней крупности нарушенной структуры. По [5], песок средней крупности считается плотным, если коэффициент пористости $e < 0,55$; средней плотности – при $0,55 < e \leq 0,70$ и рыхлым – при $e > 0,70$. Коэффициент пористости вычисляется по формуле

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}, \quad (7)$$

где ρ_s – плотность частиц грунта, принимаемая равной $2,65 \text{ г/см}^3$;
 ρ_d – плотность сухого грунта, г/см^3 ,

$$\rho_d = \frac{\rho}{(1 + 0,01\omega)}; \quad (8)$$

здесь ρ – плотность грунта, г/см^3 ;
 ω – естественная влажность грунта, %.

Так как опыт проводится с песком в воздушно-сухом состоянии, то, пренебрегая гигроскопической влажностью, то есть считая $\omega = 0$, будем иметь $\rho_d = \rho$.

Необходимое оборудование и материалы:

Коробка с песком.

Цилиндр с днищем.

Резиновый молоточек.

Ложка.

Проведение определения

1. Определяют объем цилиндра V , см^3 , и его массу m_1 , г.
2. В цилиндр насыпают песок средней крупности слоями в 1-2 см и уплотняют постукиванием резиновым молоточком по цилиндру. Цилиндр с песком взвешивают (m_2 , г).

3. Определяют плотность грунта ρ по формуле

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (9)$$

где m_1 – масса цилиндра, г;
 m_2 – масса цилиндра с песком, г;
 V – объем цилиндра, см³.

4. По формуле (7) вычисляют коэффициент пористости e и по данным, приведенным в [5], устанавливают плотность сложения песка средней крупности. Результаты заносят в табл.7.

Т а б л и ц а 7

Журнал определения плотности песка средней крупности

| № п/п | Масса | | | Объем цилиндра V , см ³ | Плотность грунта ρ , г/см ³ | Коэффициент пористости e | Плотность сложения песка по ГОСТу |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---|----------------------------|-----------------------------------|
| | цилиндра m_1 , г | цилиндра с песком m_2 , г | песка $m_2 - m_1$, г | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | | | | | |

Лабораторная работа № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

Свойства пылевато-глинистых грунтов – супесей, суглинков и глин – зависят от их минералогического, гранулометрического состава и в особенности от влажности. С изменением влажности меняются физические характеристики грунта, деформативные и прочностные показатели, а также консистенция (густота) грунта, в основном влияющая на несущую способность свай и величину расчетного сопротивления грунтового основания под подошвой фундаментов.

Консистенция характерна для связных пылевато-глинистых грунтов, обладающих пластичностью. Чем больше глинистых частиц, тем ярче выражена пластичность грунтового основания.

В зависимости от содержания воды состояние связных грунтов может меняться в значительных пределах и быть твердым, пластичным или текучим.

Для оценки состояния грунта по консистенции необходимо знать естественную влажность грунта ω и те характерные влажности, при которых грунт переходит из твердого состояния в пластичное и из пластичного в текучее.

Консистенция характеризуется показателем текучести I_L , который вычисляют по формуле

$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_L - \omega_p}, \quad (10)$$

где ω – природная влажность грунта, %;

ω_p – влажность на границе раскатывания, %;

ω_L – влажность на границе текучести, %.

Показатель текучести является важной характеристикой физического состояния грунта и используется при выборе длины свай, вычислении расчетного сопротивления грунта, определении несущей способности свай и др.

Разность между пределом текучести ω_L и пределом раскатывания ω_p называется числом пластичности I_p . По числу пластичности устанавливается наименование пылеватого-глинистого грунта.

Определение границы раскатывания (пластичности)

Граница раскатывания ω_p – влажность, при которой паста, изготовленная из исследуемого грунта и воды и раскатанная в жгут диаметром 3 мм, начинает распадаться на отдельные кусочки длиной 3-10 мм.

Необходимое оборудование и материалы:

Образцы грунта.

Набор сит.

Фарфоровая ступка и пестик с резиновым наконечником.

Шпатель и алюминиевые стаканчики с крышками.

Эксикатор.

Весы лабораторные с разновесами.

Сушильный шкаф.

Подготовка образца грунта

Образец грунта в воздушно-сухом состоянии объемом 50 см³ измельчают резиновым пестиком, просеивают через сито с отверстиями 1 мм, увлажняют дистиллированной водой до состояния густого теста при перемешивании шпателем и выдерживают не менее 2-х часов в закрытом стеклянном сосуде.

Проведение испытаний

Увлажненное грунтовое тесто тщательно перемешивают, берут из него небольшой кусочек и раскатывают ладонью руки на гладкой поверхности до образования жгута диаметром около 3 мм. Если жгут сохраняет связность и пластичность, то его собирают в комок, переминают и вновь

раскатывают до указанного диаметра (раскатывание производят, слегка нажимая на жгут). Длина жгута не должна превышать ширины ладони. Искомая граница раскатывания считается найденной, когда жгут диаметром около 3 мм начинает делиться поперечными трещинами на кусочки размером 3-10 мм.

Кусочки жгута помещают в заранее известный блок, закрываемый крышкой. Масса кусочка жгута в бюксе до высушивания должна быть не менее 10 г. Производят определение влажности методом высушивания до постоянной массы. Результат выражают в процентах.

Влажность на границе раскатывания вычисляют по формуле, %,

$$\omega_p = \frac{(m_1 - m_0)}{(m_0 - m)} \cdot 100, \quad (11)$$

где m_1 – масса бюкса с крышкой и влажным грунтом, г;

m – масса пустого стаканчика с крышкой, г;

m_0 – масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой, г

Для каждого образца грунта производят не менее 2-х параллельных определений границы раскатывания. За границу раскатывания грунта принимают среднеарифметическое значение результатов параллельных определений влажности.

Примечание. Если из приготовленного грунтового теста невозможно раскатать жгут диаметром 3 мм (грунт рассыпается), то считают, что данный грунт не имеет границы раскатывания.

Определение границы текучести

Граница текучести ω_L – влажность пасты, приготовленной из исследуемого грунта и воды, при которой балансирный конус погружается под действием собственного веса за 5 секунд на глубину 10 мм.

Необходимое оборудование и материалы:

Образцы грунта.

Набор сит.

Фарфоровая ступка и пестик с резиновым наконечником.

Шпатель и алюминиевые стаканчики с крышками.

Эксикатор.

Весы лабораторные с разновесами.

Балансирный конус.

Сушильный шкаф.

Подготовка грунта аналогична его подготовке для определения границы раскатывания (пластичности).

Проведение испытаний

1. Приготовленную грунтовую пасту укладывают в цилиндрическую форму, заполняя ее без оставления пустот; поверхность грунтовой пасты заглаживают шпателем вровень с краями формы.

2. Опускают балансный конус в грунтовую пасту; конус погружается в тесто под действием собственного веса.

3. Погружение конуса за 5 секунд на глубину менее 10 мм показывает, что искомая граница текучести достигнута.

4. При погружении конуса за 5 секунд на глубину менее 10 мм пасту вынимают из формы, присоединяют к грунтовой пасте, добавляют немного дистиллированной воды, тщательно перемешивают и повторяют операции.

5. При погружении конуса за 5 секунд на глубину более 10 мм пасту (из формы, приготовленной для определения) переносят на стекло, перемешивают, давая немного подсохнуть, затем указанные операции повторяют.

6. При достижении границы текучести отбирают из исследованной грунтовой пасты пробу массой 15-20 г и производят определение влажности методом высушивания до постоянной массы. Влажность на границе текучести вычисляют по формуле, %,

$$\omega_L = \frac{(m_1 - m_0)}{(m_0 - m)} \cdot 100. \quad (12)$$

Результаты определения пределов пластичности глинистого грунта заносят в табл. 8 и 9.

Т а б л и ц а 8

Журнал определения границы раскатывания пылевато-глинистых грунтов

| № | Номер стаканчика | Масса стаканчика | | | Граница раскатывания ω_p , % | |
|---|------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| | | пустого m , г | с грунтом m_1 , г | с высушенным грунтом m_0 , г | Отдельный образец | Среднее значение |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Т а б л и ц а 9

Журнал определения границы текучести пылевато-глинистых грунтов

| № | Номер стаканчика | Масса стаканчика | | | Граница текучести ω_L , % | |
|---|------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| | | пустого m , г | с грунтом m_1 , г | с высушенным грунтом m_0 , г | Отдельный образец | Среднее значение |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

По результатам испытаний, в зависимости от значения числа пластичности I_p , определяют наименование пылевато-глинистого грунта, а по значениям показателя текучести I_L — состояние грунта.

Лабораторная работа № 6 КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ

Компрессионные испытания проводятся для изучения сжимаемости грунтов ненарушенной структуры при естественной влажности или предварительно увлажненных до полного насыщения.

Сжимаемостью грунтов называют способность их уменьшаться в объеме (давать осадку) под действием внешнего давления вследствие изменения пористости.

Компрессионные испытания – это испытания образцов грунта на сжатие без возможности бокового расширения. Испытание грунтов завершается построением компрессионной кривой и определением характеристик деформативных свойств грунтов – коэффициента сжимаемости m_0 и модуля общей деформации E . Указанные характеристики используются для ряда инженерных расчетов, и прежде всего расчета деформаций основания и общей качественной оценки свойств грунтов.

Для испытания применяют компрессионные приборы (одеметры) типа КП, К-1, прибор системы И.М. Литвинова и др. В лаборатории кафедры ГДС ПГУАС имеются компрессионные приборы всех основных перечисленных типов.

Рассмотрим испытания грунтов в компрессионном приборе типа К-1.

Необходимое оборудование и материалы:

Компрессионный прибор К-1.

Индикаторы часового типа ИЧ-10.

Металлическая тарировочная болванка.

Нож с прямым лезвием.

Технические весы с разносами.

Сушильный шкаф.

Бюксы алюминиевые.

Эксикатор.

Фильтровальная бумага.

Часы.

Образец грунта.

Проведение испытаний

Образец грунта высотой $h_0 = 25$ мм и площадью 60 см^2 ненарушенной структуры и естественной влажности отбирают в компрессионное кольцо, масса которого известна. Избыток грунта с обеих сторон срезают ножом так, чтобы объем грунта точно соответствовал объему полости кольца. Кольцо с грунтом взвешивают.

Определяют плотность грунта ρ , плотность частиц грунта ρ_s , природную влажность ω , и вычисляют начальный коэффициент пористости e_0 .

На нижний перфорированный (пористый) металлический диск одометра кладут смоченный водой кружок фильтровальной бумаги, устанавливают на него кольцо с грунтом и закрепляют его обоймой. Поверх грунта также кладут кружок смоченной водой фильтровальной бумаги, а на него – верхний перфорированный поршень. Одометр помещают на станину компрессионного прибора в фиксированном положении. В держатели для замера деформаций образца грунта устанавливают индикаторы с некоторым отсчетом по красной шкале. К каретке для передачи вертикального давления подсоединяют рычажное устройство.

Испытание проводят путем сжатия образца нагрузкой, передающейся с помощью рычажного устройства на поршень прибора. Соотношение плеч рычагов прибора К-1 составляет 1:10. Давление на грунт увеличивают ступенями. Принимают такие ступени давления: 50, 100, 200, 300 кПа. При необходимости давление может быть доведено до 1200 кПа. В приборе К-1 масса на подвеске в 6 кг сообщит образцу грунта давление в 100 кПа.

Записав нулевое (начальное) показание индикаторов с точностью до 0,01 мм, прикладывают первую ступень нагрузки. Отметив время начала испытаний, записывают все необходимые данные в табл. 10.

Приложив нагрузку, ведут наблюдения за деформацией грунта по показаниям индикаторов. Отсчеты по индикатору берут через 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30 мин; 1, 2, 3, 6, 12, 24 часа, считая с начала опыта. Каждую сообщаемую образцу грунта ступень давления выдерживают до условной стабилизации деформаций сжатия. За условную стабилизацию деформаций принимают деформации сжатия, не превышающие 0,01 мм за время: 30 мин – для песчаных грунтов, 3 часа – для супеси и 12 часов – для суглинков и глин.

После стабилизации уплотнения дают следующую ступень нагрузки, записывая показания индикаторов при тех же интервалах времени. Режим испытания образца должен, по возможности, моделировать работу грунта при строительном процессе и эксплуатации сооружения. Например, испытание образца грунта из слоя, расположенного ниже уровня грунтовых вод, должно проводиться в приборе под водой и т.д.

Деформация, зафиксированная индикаторами, включает в себя и деформацию прибора. Для определения действительной деформации грунта нужно знать деформацию прибора, которая (в том числе и деформация листков фильтровальной бумаги) определяется при его тарировке. Тарировка проводится так же, как и компрессионное испытание, но в этом случае вместо грунта в прибор закладывают металлическую болванку с влажными листками фильтровальной бумаги. Время, необходимое для стабилизации деформаций, в этом случае составляет 3-5 мин. По полученным

данным строится график, который используется при расчете действительной деформации образца. Тарировка проводится 1-2 раза в год.

Внешняя нагрузка на образец вызывает изменение его высоты. Зная деформацию образца Δh_i при заданном давлении σ , можно определить изменение коэффициента пористости Δe_i и коэффициент пористости e_i , который соответствует той же нагрузке.

Начальный коэффициент пористости вычисляется по формуле

$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho} \cdot (1 + 0,01\omega) - 1,$$

где ω – природная влажность, %;

ρ – плотность грунта, г/см³;

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³.

Изменение коэффициента пористости после уплотнения от каждой ступени нагрузки определяется по формуле

$$\Delta e_i = \frac{\Delta h_i \cdot (1 + e_0)}{h_0}, \quad (13)$$

где h_0 – начальная высота образца грунта, мм;

Δh_i – деформация образца грунта, мм.

Коэффициент пористости, соответствующий каждой ступени давления, вычисляют по формуле

$$e_i = e_0 - \Delta e_i, \quad (14)$$

где Δe_i – изменение коэффициента пористости.

Вычитая из показаний индикаторов, полученных в процессе испытания, начальный отсчет, находят суммарную деформацию образца грунта и прибора для каждой ступени давления (среднее значение по показаниям обоих индикаторов).

Деформацию образца грунта Δh_i определяют для каждой ступени давления путем вычитания деформации прибора (тарировочной поправки) из суммарной деформации.

Данные испытаний заносятся в табл. 10. Обработав результаты испытания, строят компрессионную кривую, общий вид которой представлен на рис. 3. Для построения компрессионной кривой по оси абсцисс откладывают вертикальные давления σ , а по оси ординат – соответствующие им коэффициенты пористости e .

Для количественной оценки деформативных свойств грунтов по компрессионной кривой определяют коэффициент m_0 , называемый коэффициентом сжимаемости (коэффициентом уплотнения). Рассматривая некоторый окончательный интервал давления от σ_n до σ_k , можно уменьшение

коэффициента пористости ($e_H - e_K$) приближенно считать прямо пропорциональным приращению давления ($\sigma_K - \sigma_H$).

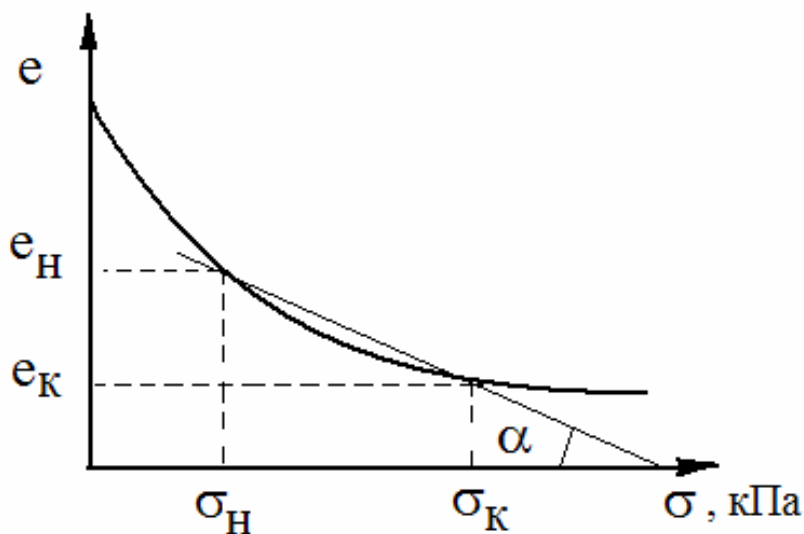


Рис. 3. Схема компрессионной кривой

Коэффициент сжимаемости m_0 , МПа^{-1} , вычисляют по формуле

$$m_0 = \text{tg } \alpha = \frac{e_H - e_K}{\sigma_K - \sigma_H}, \quad (15)$$

где $(e_H - e_K)$ – изменение коэффициента пористости в рассматриваемом интервале давления;

$(\sigma_K - \sigma_H)$ – изменение давления, кПа.

Коэффициент сжимаемости m_0 , МПа^{-1} , грунта равен отношению изменения коэффициента пористости к давлению. Он является количественной характеристикой способности грунта уплотняться при невозможности бокового расширения. Коэффициент сжимаемости имеет размерность, обратную давлению, и численно равен тангенсу угла в принятом интервале давлений. В ряде случаев удобно пользоваться параметром, называемым коэффициентом относительной сжимаемости m_V , МПа^{-1} :

$$m_V = \frac{m_0}{(1 + e_0)}. \quad (16)$$

Интервал давлений, на котором спрямляется компрессионная кривая, должен выбираться каждый раз в зависимости от условий конкретной решаемой задачи: например, при строительстве какого-либо здания или сооружения σ_H принимается равным давлению от собственного веса грунта (природному давлению) в уровне подошвы фундамента, а σ_K – среднему давлению по подошве фундамента от нагрузок после ввода сооружения в эксплуатацию.

Зная коэффициент сжимаемости, вычисляют модуль общей деформации грунта E в тех же интервалах давлений по формуле

$$E = \frac{\beta}{m_v} = \frac{(1 + e_0)}{m_0} \cdot \beta, \quad (17)$$

где β – коэффициент, зависящий от коэффициента бокового расширения ν ,

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu};$$

здесь ν – коэффициент бокового расширения, равный для: крупнообломочных грунтов – 0,27; песков и супесей – 0,30; суглинков – 0,35; глин – 0,42.

Модуль общей деформации грунта выражает отношение сжимающего давления к относительной деформации сжатия (упругой и остаточной). Величины модуля общей деформации и коэффициента сжимаемости меняются для одного и того же образца грунта в зависимости от его плотности.

Величина коэффициента сжимаемости позволяет давать общую качественную оценку грунтов основания (по Н.А. Цытовичу): при $m_v = 0,01 \text{ МПа}^{-1}$ – грунт малосжимаемый; при $m_v = 0,1 \text{ МПа}^{-1}$ – средней сжимаемости; при $m_v = 1 \text{ МПа}^{-1}$ – чрезмерно сжимаемый. В последнем случае грунт, как правило, непригоден для использования в качестве естественного основания.

Результаты компрессионных испытаний грунтов заносят в табл. 10.

Образцы грунта (монолиты) для определения показателей сжимаемости следует отбирать из открытых горных выработок: шурфов, котлованов, расчисток и т.п.

Образцы грунта, предназначенные для испытаний в лаборатории, до определения сжимаемости заливают грунтовой водой с места отбора грунта. В случаях, определяемых программой исследований, возможно применение дистиллированной воды и искусственно приготовленных растворов заданного химического состава.

Отбор образцов, их упаковку, транспортировку и хранение надлежит производить по ГОСТу.

Отбор образцов из скважин допускается осуществлять с помощью грунтоносов, обеспечивающих сохранение природного сложения и влажности грунтов.

Изложенная методика определения характеристик сжимаемости грунтов не распространяется на пылевато-глинистые грунты, содержащие крупнообломочные включения размером зерен более 5 мм, а также на просадочные и набухающие грунты.

Таблица 10

Журнал проведения компрессионных испытаний грунта

| № п/п | Время снятия отсчета t , мин | Интенсивность давления σ , кПа | Тарировочная поправка ΔH_i , мм | Суммарная деформация образца и прибора (отсчеты по индикатору) | | | Деформация образца грунта Δh_i , мм | Изменение коэффициента пористости Δe_i | Коэффициент пористости e_i | Коэффициент сжимаемости m_o , МПа ⁻¹ | Модуль общей деформации и E , МПа |
|-------|--------------------------------|---------------------------------------|---|--|------------------|------------------|---|--|------------------------------|---|-------------------------------------|
| | | | | Левый индикатор | Правый индикатор | Среднее значение | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |

Лабораторная работа № 7

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПРОСАДОЧНОСТЬ ГРУНТОВ

Испытания просадочных грунтов для определения относительной просадочности при их замачивании под давлением проводятся на стандартных компрессионных приборах.

Под просадочностью понимают уменьшение объема грунта при увлажнении. К просадочным относятся пылевато-глинистые грунты, которые под действием внешней нагрузки или собственного веса при замачивании водой дают дополнительную осадку (просадку).

Относительная просадочность грунта ϵ_{sl} представляет собой отношение просадки (т.е. величины изменения высоты образца, находящегося под заданным давлением при замачивании) к высоте образца природной влажности при природном давлении.

Относительная просадочность грунта определяется по формуле

$$\epsilon_{sl} = \frac{h_{п.п} - h_{sat.p}}{h_{п.д}}, \quad (18)$$

где $h_{п.п}$ – высота образца природной влажности, обжатого без возможности бокового расширения давлением P , равным давлению, действующему на рассматриваемой глубине, от собственного веса грунта и нагрузки от фундамента или только от собственного веса грунта в зависимости от вида рассчитываемых деформаций;

$h_{sat.p}$ – высота того же образца после замачивания последнего до полного водонасыщения при сохранении давления P ;

$h_{п.д}$ – высота того же образца грунта природной влажности, обжатого без возможности бокового расширения давлением, равным давлению от собственного веса грунта на рассматриваемой глубине.

Образец просадочного грунта, как и непросадочного, исследуется в одомере. Разница состоит в том, что образец, нагруженный давлением P после стабилизации осадки замачивается водой. От воздействия замачивания дополнительно нарастает деформация (просадка), которая для различных просадочных грунтов различна. После стабилизации просадки давление на образец увеличивается, и выявляется дальнейшая компрессионная зависимость; поэтому компрессионная кривая для просадочных грунтов имеет вид, показанный на рис.4.

Относительная просадочность является характеристикой, которая служит для расчета величины возможной просадки грунтов оснований зданий и сооружений. Эта характеристика используется также для расчета величины просадки от собственного веса грунта при определении типа просадочных грунтов.

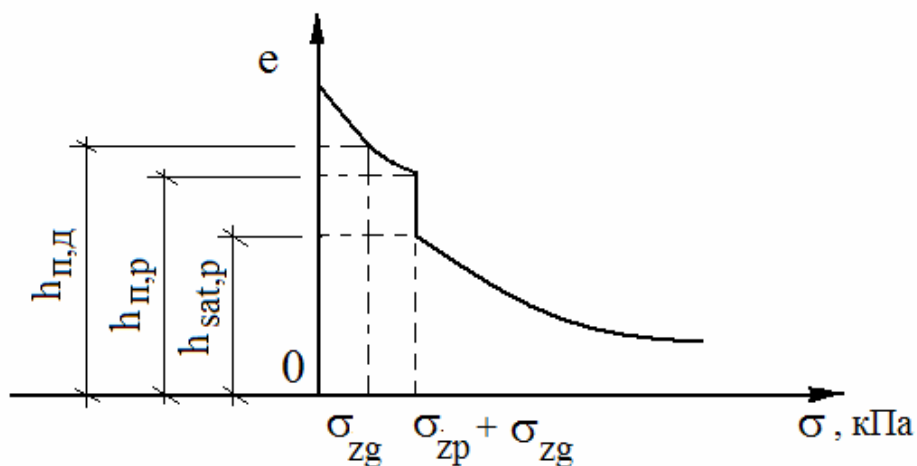


Рис.4. Схема компрессионной кривой

Деформации (просадки) учитываются лишь при величине относительной просадочности грунтов $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$. При меньшем значении ε_{sl} грунт считается непросадочным. Результаты определения относительной просадочности необходимо выражать с точностью до 0,001 и регистрировать в журнале испытаний с указанием наименований видов грунта и значений его физических характеристик.

Для замачивания образцов грунта надлежит использовать воду питьевого качества температурой 10-25 °С. Замачивание образцов грунта следует производить снизу вверх в последовательности, определяемой схемой испытаний («одной кривой» или «двух кривых») при неизменном градиенте напора, равном 1-1,1.

Лабораторная работа № 8 ИСПЫТАНИЕ ГРУНТОВ НА СРЕЗ

Нарушение прочности (устойчивости) грунтовых оснований сопровождается образованием поверхностей скольжения, по которым происходит сдвиг (срез) одной части грунта по другой. Испытания грунтов на срез проводятся для определения прочностных характеристик грунтов – угла внутреннего трения φ (град) и удельного сцепления c (кПа). Сопротивлением грунтов срезу называется наименьшее касательное напряжение τ , при котором образец грунта срезается по заранее намеченной плоскости при заданном нормальном давлении.

Сопротивление срезу в общем случае, помимо нормального давления, зависит от прочностных характеристик и пористости грунта, существенно уменьшаясь с увеличением последней. Такое же значительное влияние на сопротивление грунта срезу оказывает и влажность, особенно последнее

характерно для глинистых грунтов. Сопротивление срезу также зависит от природы внутренних структурных связей и схемы среза, от гранулометрического и минерального составов грунтов. У кварцевых песков сопротивление срезу больше, чем у слюнистых, а у крупных – больше, чем у пылеватых.

Прочностные характеристики грунта – угол внутреннего трения φ (град) и удельное сцепление c (кПа) – в лабораторных условиях, как правило, определяют на срезных приборах путем установления зависимости между сопротивлением грунта срезу τ (кПа) и нормальным давлением на образец σ (кПа). Зависимость между этими величинами графически изображается кривой, которая без существенных погрешностей в расчетах обычно заменяется прямой. Такой прием был впервые введен Ш.Кулоном, предложившим указанную зависимость математически выражать в виде уравнения прямой – закон Кулона. Согласно закону Кулона предельное сопротивление грунта сдвигу $\tau_{\text{пред}}$ (кПа) определяется по формуле

$$\tau_{\text{пред}} = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (19)$$

где σ – нормальное давление, кПа;

φ – угол внутреннего трения грунта, град;

c – удельное (отнесенное к единице площади) сцепление грунта, кПа.

Параметры уравнения прямой φ и c как бы делят общее сопротивление грунта срезу на сопротивление трения и сцепления (разрыву) грунта. При этом внутреннее трение зависит от величины σ , а сцепление считается независимым от σ и определяется внутренними структурными связями грунта. Прочностные характеристики φ и c используются при определении расчетного R (кПа) и предельного N_u (кН) сопротивлений грунта, при оценке несущей способности оснований и при расчетах устойчивости массивов (откосов), горизонтального давления на ограждения и т.д.

Оба параметра сдвига (φ и c) определяют на образцах грунта как нарушенной, так и ненарушенной структуры при естественной влажности или в водонасыщенном состоянии, в зависимости от решаемой задачи.

Применяют два метода испытания грунта на срез – по открытой и закрытой системам. Первый метод, называемый «консолидированным срезом», предусматривает определение величины $\tau_{\text{пред}}$ после того, как грунт под действием приложенного давления σ приобретает максимально возможную для данной нагрузки плотность – обычные условия строительства. По второму методу – «неконсолидированному срезу» – $\tau_{\text{пред}}$ определяют сразу после приложения нормального давления, не ожидая уплотнения грунта. Данные условия характерны для интенсивного строительства на мягкопластичных водонасыщенных глинистых грунтах.

Срез грунта производится нагрузкой, прикладываемой ступенями по 5-10 % от вертикальной нагрузки по одной из схем:

1) *медленный сдвиг*, когда сдвигающее усилие прикладывается ступенями, причем каждая ступень прикладывается после затухания деформации, вызванной предыдущей ступенью; за условную стабилизацию деформации среза принимают ее скорость 0,01 мм/мин;

2) *быстрый сдвиг*, когда сдвигающее усилие непрерывно увеличивается с таким расчетом, чтобы все испытание протекало не более 2-х минут.

Прибор для испытания грунтов на срез позволяет производить определение сопротивления срезу глинистых и песчаных грунтов как после их предварительного уплотнения под заданной нагрузкой, так и без предварительного уплотнения. Площадь поперечного сечения образца равна 40 см².

Основные части прибора:

Стол прибора.

Механизм передачи касательной нагрузки.

Срезная коробка.

Механизм передачи нормальной нагрузки.

Два индикатора для производства замеров вертикальных и горизонтальных перемещений.

Порядок определения сопротивления срезу

1. Быстро разгружают уплотненный образец грунта и переносят его в срезную коробку, не снимая штампа. Устанавливают и закрепляют над штампом индикатор.

2. Загружают образец грунта до величины нормального давления, при котором будут производить срез. Загрузку образца грунта производят в одну ступень и выдерживают ее не менее:

➤ для песчаных грунтов – 5 мин;

➤ для супеси – 15 мин;

➤ для суглинков и глин – 30 мин.

3. Устанавливают зазор между верхней и нижней частями обоймы. Высоту зазора для гравелистых и крупных песков принимают равной 2 мм, для остальных грунтов – 0,5; 1 мм.

4. Устанавливают и закрепляют индикатор для регистрации деформации среза так, чтобы стрелка малого циферблата стояла на одном из крайних делений.

Вычисляют величину ступени касательной нагрузки q_r , Н, по формуле

$$q_r = 0,05 \cdot \sigma \cdot A \cdot n, \quad (20)$$

где σ – вертикальное давление на образец, Па;

A – площадь поперечного сечения образца, м^2 ;

n – соотношение плеч рычага (1:10).

С момента приложения каждой ступени касательной нагрузки берут отсчеты по индикатору.

Опыт считается законченным, когда после приложения соответствующей ступени нагрузки каретка срезной коробки получает незатухающие деформации (после приложения этой ступени нагрузки стрелка индикатора пройдет более 5 кругов).

Обработка результатов испытаний

Для определения величин ϕ и c исследуемого грунта надлежит производить срез не менее чем при трех различных уплотняющих давлениях $\sigma = 100, 200, 300$ кПа.

По принятым значениям нормальных давлений и соответствующим им сопротивлениям грунта срезу $\tau_{\text{пред}}$, полученным в результате испытания, строят график зависимости $\tau_{\text{пред}}$ от σ , откладывая по оси абсцисс величины σ , кПа, а по оси ординат – соответствующие им значения $\tau_{\text{пред}}$, кПа (рис. 5).

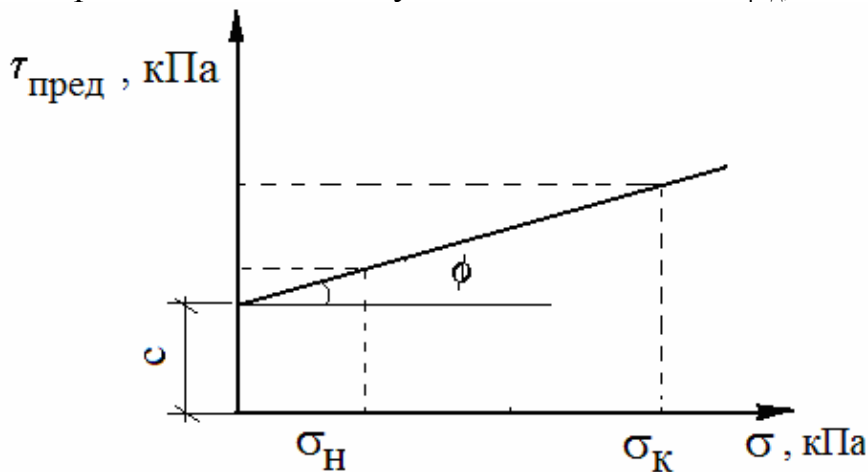


Рис. 5. График зависимости $\tau_{\text{пред}} = f(\sigma)$ сопротивления срезу от нормального давления

Так как зависимость $\tau_{\text{пред}}$ от σ не является линейной (особенно при малых величинах нормальных давлений), а лишь приближается к линейной, то необходимо через опытные точки провести прямую линию, занимающую среднее положение между всеми точками.

С достаточной для практики точностью эта зависимость принимается линейной и выражается уравнением прямой: $\tau_{\text{пред}} = \sigma \cdot \text{tg} \phi + c$.

Определяют значения $\text{tg} \phi$ по полученным результатам испытания:

$$\text{tg} \phi = \frac{\tau_{\text{пред.2}} - \tau_{\text{пред.1}}}{\sigma_2 - \sigma_1}. \quad (21)$$

По найденному значению $\operatorname{tg}\varphi$ определяют угол внутреннего трения с точностью до 1° .

Удельное сцепление вычисляется при найденном значении $\operatorname{tg}\varphi$ по формуле:

$$c = \tau_{\text{пред.1}} - \sigma_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (22)$$

Точность определения c равна 1 кПа

Угол внутреннего трения и удельное сцепление можно определить и графически, измерив их значения на графиках зависимости $\tau_{\text{пред}} = f(\sigma)$ для τ и σ , вычерченных и одном и том же масштабе. Масштаб графика принимают следующим: 100 кПа – 20 мм.

Результаты определения заносятся в табл.11.

Т а б л и ц а 11

Журнал испытания образцов грунта на срез

| № п/п | Нормальное напряжение σ , кПа | Минимальная горизонтальная нагрузка, при которой произошел срез T , кН | Касательное напряжение $\tau_{\text{пред}}$, кПа | Коэффициент трения $\operatorname{tg}\varphi$ | Угол внутреннего трения φ , град | Удельное сцепление c , кПа |
|-------|--------------------------------------|--|---|---|--|------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | | | | | | |

Для испытаний образцов грунта в условиях полного водонасыщения необходимо предварительно замочить образцы, заполнив водой ванну уплотнителя до уровня верха образца. Время насыщения образцов водой до начала предварительного уплотнения должно быть: не менее 10 мин – для песчаных грунтов, 3 ч – для супесей, 6-12 ч – для суглинков, 12-36 ч – для глин.

ЭЛЕМЕНТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МЕХАНИКЕ ГРУНТОВ (УИРС)

Лабораторные работы по механике грунтов проводятся с использованием монолитов, отобранных в полевых условиях, без нарушения их природной структуры и состояния.

Лабораторные работы выполняют студенты, разделенные на бригады, которые используют различные приборы и установки, а также методы определения. Это дает возможность проанализировать и сравнить результаты исследований грунтов одного монолита, оценить влияние объективных (различные приборы) и субъективных (отношение к работе студентов в бригадах) факторов на конечные показатели физико-механических свойств грунтов.

Определение удельного веса грунта выполняется двумя методами: режущего кольца и взвешивания в воде. Компрессионные испытания и испытания на сдвиг проводятся на двух типах приборов – стационарных (КП-1 и ГПП-30) и приборах из полевой лаборатории Литвинова. Результаты сравниваются.

Анализируя результаты исследований, студенты классифицируют грунты, производят оценку механических свойств при внешних воздействиях, делают выводы о степени изменчивости физико-механических характеристик от различных факторов, оценивают несущую способность грунтов.

Исследования, проводимые во время лабораторных занятий, учат студентов правильно оценивать строительные свойства грунтов, обобщать полученные результаты и умело использовать их в своей практической работе, при курсовом и дипломном проектировании.

Задачей проектирования фундаментов является поиск эффективного решения, которое может быть найдено только при верной оценке инженерно-геологических условий строительной площадки, совместной работы грунтов основания с фундаментами и надземными конструкциями и способа устройства фундаментов, гарантирующего, сохранность природной структуры грунтов в оснований.

ВОПРОСЫ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ПО КУРСУ «МЕХАНИКА ГРУНТОВ»

1. Что называется напряжением?
2. Дать определение понятиям нормального, касательного, полного и главного напряжений.
3. Дать определение понятиям линейного, плоского, объемного напряженных состояний твердого деформируемого тела.
4. Что называется деформацией твердого деформируемого тела?
5. Дать определение понятиям абсолютной и относительной линейной и угловой деформаций, упругой и остаточной (пластической) деформаций.
6. Пояснить зависимость между деформациями и напряжениями в деформируемом твердом теле. Описать закон Гука для линейного, плоского, объемного напряженных состояний твердого деформируемого тела.
7. Объяснить, как напряженно-деформированное состояние твердого тела характеризуется главными напряжениями.
8. Изобразить напряженно-деформируемое тело графически кругом Мора при действии следующих напряжений $\sigma_1=500$ кПа; $\sigma_2=100$ кПа; $\sigma_3=0$.

ВОПРОСЫ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ПО КУРСУ «МЕХАНИКА ГРУНТОВ»

1. При каком значении коэффициента сжимаемости (при прочих равных условиях) получится максимальный модуль деформации?

- 1) $m_o=0,07 \text{ мПа}^{-1}$;
- 2) $m_o=0,28 \text{ мПа}^{-1}$;
- 3) $m_o=0,36 \text{ мПа}^{-1}$;
- 4) $m_o=0,18 \text{ мПа}^{-1}$.

2. Как определяется коэффициент пористости?

- 1) экспериментально;
- 2) рассчитывается по ρ_s, ρ, W ;
- 3) по таблицам в зависимости от W ;
- 4) рассчитывается по W_p, W_L .

Как определяется наименование глинистого грунта

- 1) по минералогическому составу;
- 2) величиной числа пластичности⁴
- 3) по показателю текучести;
- 4) значением коэффициента пористости и влажности.

4. Определить по показателю текучести наиболее «прочный» грунт.

- 1) $I_L=0,2$;
- 2) $I_L=0,6$;
- 3) $I_L=0,9$;
- 4) $I_L=1,0$.

5. Какое из приведенных выражений характеризует модуль деформации?

- 1) $(e_H+1)\beta / m_o(H,K)$;
- 2) $(e_H - e_K) / (\sigma_H - \sigma_K)$;
- 3) $\sigma \text{tg} \varphi + c$;
- 4) $1 - (2\nu^2 / (1 - \nu))$.

6. Закон Кулона для глинистых грунтов.

- 1) $\tau = 1+c$;
- 2) $\tau = \sigma \text{tg} \varphi - c$;
- 3) $\tau = \sigma \text{tg} \varphi$;
- 4) $\tau = \sigma \text{tg} \varphi + c$.

7. Закон Кулона для песчаных грунтов.

- 5) $\tau = 1 + c$;
- 6) $\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi - c$;
- 7) $\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi$;
- 8) $\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c$.

7. Какое из определений характеризует модуль деформации грунта?

- 1) постоянный;
- 2) более 1 МПа;
- 3) менее 5 МПа;
- 4) переменный.

8. Определить по величинам влажности наиболее «прочный» грунт

- 1) $W_L = W$;
- 2) $W_P = W$;
- 3) $W < W_P$;
- 4) $W_P < W < W_L$.

9. Какое число пластичности характеризует супесь?

- 1) $I_P = 10$;
- 2) $I_P = 5$;
- 3) $I_P = 13$;
- 4) $I_P = 18$.

10. Как изменится значение числа пластичности с увеличением влажности ?

- 1) уменьшится;
- 2) не изменится;
- 3) увеличится;
- 4) станет равным 0.

11. Назовите прочностные характеристики грунта.

- 1) I_P, I_L ;
- 2) φ, c ;
- 3) m_o, E ;
- 4) γ, φ .

12. Назовите деформационные характеристики грунта.

- 1) I_P, I_L ;
- 2) φ, c ;
- 3) m_o, E ;
- 4) γ, φ .

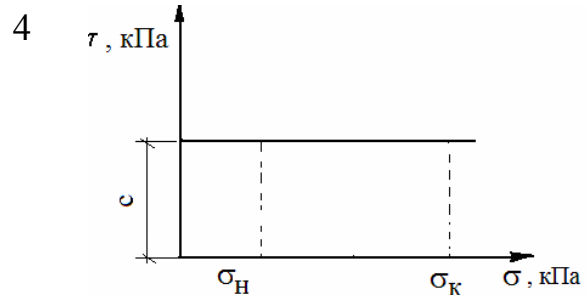
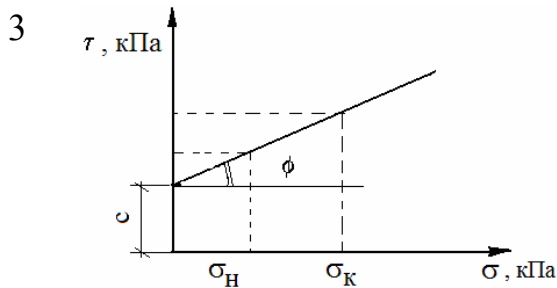
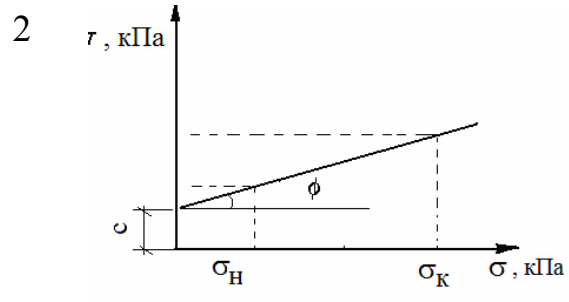
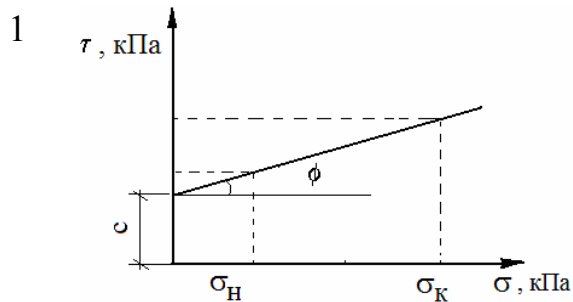
13. По какой формуле определяются напряжения от собственного веса грунта?

- 1) $\sigma_{zq} = \gamma h$;
- 2) $\sigma_{zq} = N h$;
- 3) $\sigma_{zq} = eWh$;
- 4) $\sigma_{zq} = N h \gamma$.

14. По какому предельному состоянию рассчитываются основания из глинистых грунтов при вертикальной нагрузке и отсутствии откосов?

- 1) по первой группе предельных состояний;
- 2) по второй группе предельных состояний;
- 3) по двум группам предельных состояний;
- 4) методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

15. Определите по графику испытания наиболее прочный грунт.



16. Коэффициентом пористости грунта называется....

- 1) отношение объема пор к объему твердых частиц;
- 2) коэффициент, равный 1,2-1,3 для разных видов грунта, учитывающий наличие пор в грунте при определении веса образца грунта;
- 3) коэффициент, учитывающий форму и размеры частиц грунта при определении объема пор;
- 4) отношение объема пор к объему образца грунта.

17. Числом пластичности I_p грунтов называется разность ...

- 1) природной влажности грунта W и влажности на границе раскатывания W_p ;
- 2) между границей текучести W_L и границей раскатывания W_p ;
- 3) между влажностями на границах раскатывания W_p и текучести W_L ;
- 4) между влажностью на границе текучести W_L и природной влажностью грунта W .

18. Модуль общей деформации грунта E_0 необходим для определения...

- 1) напряжений в грунте под подошвой фундамента;
- 2) осадки фундамента;
- 3) нижней границы сжимаемой толщи;
- 4) природного давления в грунте.

19. При инженерных расчетах основания принято считать, что напряжения от собственного веса грунта являются ...

- 1) возрастающими в летнее время;
- 2) стабилизировавшимися;
- 3) уменьшающимися после возведения сооружения;
- 4) возрастающими после возведения сооружения.

20. Для каких целей нужны классификационные показатели свойств грунтов?

- 1) для присвоения грунту наименования и установления его основания;
- 2) для отнесения грунта к классу горных пород;
- 3) для определения возможности использовать грунт в качестве строительного материала;
- 4) для установления прочностных характеристик грунтов.

21. Как определяется наименование песчаного грунта?

- 1) величиной числа пластичности;
- 2) значением коэффициента пористости и влажности;
- 3) гранулометрическим составом частиц;
- 4) по показателю текучести.

22. Что характеризует коэффициент пористости грунта?

- 1) плотность сложения грунта;
- 2) наименование грунта;
- 3) минералогический состав грунта;
- 4) деформационные свойства грунта.

23. Как определяется влажность грунта природного сложения «w»?

- 1) по виду грунта визуальным осмотром его образца;
- 2) в лаборатории методом высушивания до постоянной массы;
- 3) удалением воды прессованием образца грунта;
- 4) расчетом по формулам при известном значении коэффициента пористости «e».

24. Как определяются классификационные показатели физических свойств грунтов?

- 1) на образцах грунтов в лабораториях;
- 2) по таблицам;
- 3) рассчитываются по формулам;
- 4) по рассказам опытных инженеров.

25. Какие классификационные характеристики грунтов являются базовыми физическими характеристиками грунтов?

- 1) $\rho, \rho_s, w, w_p, w_L$;
- 2) e, w, n, S_r, ρ_d ;
- 3) n, ρ, I_L, w_p, w_L ;
- 4) w, w_p, w_L, e, S_r .

26. Между какими величинами устанавливает зависимость закон Кулона?

- 1) устанавливает зависимость между давлением на грунт и силой сопротивления грунта на срез;
- 2) устанавливает зависимость между давлением на грунт и его уплотнением;
- 3) устанавливает зависимость между влажностью грунта и силой сопротивления грунта на срез;
- 4) устанавливает зависимость между давлением на грунт и его степенью влажности.

27. Что называют просадкой грунта?

- 1) уменьшение объема пор при усадке грунта;
- 2) резкая вертикальная деформация грунтов при замачивании, сопровождающаяся коренным разрушением структуры грунта;
- 3) уменьшение высоты образца грунта при высыхании;
- 4) смещение грунта с крутого откоса после дождя.

28. Что такое гидростатическое давление?

- 1) давление движущейся воды;
- 2) давление воды, вытекающей из крана;
- 3) давление спокойной (застойной) воды;
- 4) давление воды при дожде.

29. Как характеризуется закономерность поведения грунтов при действии внешней нагрузки?

- 1) Изменяется по погодным условиям.
- 2) Характеризуется проявлением усталости.
- 3) Характеризуется законами пористости. Их три: закон уплотнения, закон трения и закон ламинарной фильтрации (Дарси).
- 4) Характеризуется способностью размокать.

30. Что такое песчаный грунт?

- 1) Грунт, оставшийся на сите с отверстиями диаметром 2 мм.
- 2) Сыпучие в сухом состоянии грунты, содержащие менее 50 % по весу частиц крупнее 2,0 мм и не обладающие пластичностью.
- 3) Грунт, содержащий не более 10 % глинистых частиц.
- 4) Грунт, рассыпающийся на куски при ударе.

31. Что такое плотность сухого грунта?

- 1) Масса единицы объема сухого грунта.
- 2) Вес единицы объема грунта природного сложения.
- 3) Масса единицы объема частиц грунта.
- 4) Масса единицы объема природного грунта.

32. Что такое «штамп» в механике грунтов?

- 1) Агрегат для забивки свай.
- 2) Опытный фундамент.
- 3) Отбойный молоток
- 4) Оттиск печати.

33. Что такое пылевато-глинистый грунт?

- 1) Грунты, которые содержат определенный процент глинистых частиц размером менее 0,005 мм и для которых число пластичности больше или равно 1,0 (единице). Основные виды таких грунтов – супеси, суглинки и глины.
- 2) Грунт, содержащий более 50 % частиц крупнее 2 мм.
- 3) Всякий грунт, кроме скального.
- 4) Грунт зеленовато-серый на вид.

34. Определить наименование грунта и его состояние, если $W=26,0$; $W_L=28,0$; $W_P=22,0$.

- 1) Грунт – пылеватый песок.
- 2) Грунт – супесь в пластичном состоянии
- 3) Грунт – глина влажная.
- 4) Грунт – суглинок прочный.

35. *Что такое контактная задача?*

- 1) Определение касательных напряжений.
- 2) Определение напряжений в уровне подошвы фундамента.
- 3) Определение нормальных напряжений.
- 4) Определение напряжений в массиве грунта.

36. *Где используется модуль деформации грунта?*

- 1) В расчетах осадок фундаментов.
- 2) При определении напряжений в грунте.
- 3) При сборе нагрузок на фундамент.
- 4) В расчетах площади подошвы фундамента.

37. *Что такое особые грунтовые условия?*

- 1) Грунты на строительной площадке.
- 2) Грунты за пределами городской черты.
- 3) Площадки, сложенные грунтами со специфическими характеристиками, проявляющимися под воздействием различных факторов – замачивания, высыхания, промерзания, засоления, динамики и т.п.
- 4) Грунтовые условия на обочине дороги.

38. *Что такое компрессия?*

- 1) Сжатие без возможности бокового расширения.
- 2) Увеличение объема при замачивании.
- 3) Сдвиг части грунта под нагрузкой.
- 4) Уменьшение объема при высыхании.

39. *Что называется вечномерзлым грунтом?*

- 1) Грунт, имеющий отрицательную температуру.
- 2) Грунт, содержащий в себе лед.
- 3) Грунт, сохраняющий мерзлое состояние более трех лет.
- 4) Грунт, свободный от снега зимой.

40. *Чем определяются свойства грунтов?*

- 1) Возможностью сохранять природное состояние.
- 2) Способностью промораживаться.
- 3) Размоканием при замачивании.
- 4) Физическими и механическими характеристиками.

41. *Что такое компрессионные испытания?*

- 1) Испытание на сжатие образцов грунта без возможности бокового расширения в лабораторных условиях.
- 2) Способность грунта деформироваться под нагрузкой.
- 3) Уменьшение объема грунта при сжатии.
- 4) Способность грунта уменьшаться в объеме при высушивании.

42. *Что такое сжимаемость грунтов?*

- 1) Способность уменьшаться в объеме при высушивании.
- 2) Способность уменьшаться в объеме под нагрузкой.
- 3) Расширение при снятии нагрузки.
- 4) Усадка.

43. *Что такое коэффициент Пуассона?*

- 1) Коэффициент поперечного расширения грунта.
- 2) Коэффициент устойчивости откоса.
- 3) Коэффициент бокового давления грунта.
- 4) Модуль сдвига Юнга

44. *Для чего производят испытание грунтов на срез?*

- 1) Для определения деформационных характеристик.
- 2) Для определения фильтрационных характеристик.
- 3) Для определения прочностных характеристик.
- 4) Для определения физических характеристик.

45. *Что такое подпорные стены?*

- 1) Фундаменты-оболочки.
- 2) Защита крутых откосов от обрушения.
- 3) Стены жилых зданий.
- 4) Ограждающие конструкции крыши.

46. *Что такое грунты?*

- 1) Грунты – продукты выветривания каменной оболочки земли, используемые для строительно-технических целей.
- 2) Почва в парках и садах.
- 3) Насыпь на болоте.
- 4) Земля на колхозном поле.

47. *Что относится к физическим характеристикам грунтов?*

- 1) Природные влажность и плотность, пористость и коэффициент пористости, плотность сухого грунта и частиц грунта, степень влажности, число пластичности и показатель текучести.
- 2) Уплотняющее давление, модуль сдвига.
- 3) Модуль упругости, коэффициент Пуассона.
- 4) Угол внутреннего трения, удельное сцепление.

48. *Что такое плотность минеральных частиц?*

- 1) Вес единицы объема грунта природного сложения.
- 2) Масса единицы объема сухого грунта.
- 3) Масса единицы объема частиц грунта.
- 4) Масса единицы объема природного грунта.

49. Как определить состояние пылевато-глинистого грунта в зависимости от влажности?

- 1) По объему пор в грунте.
- 2) В зависимости от температуры воздуха.
- 3) По внешнему виду.
- 4) По показателю текучести.

50. Что относится к механическим характеристикам грунта?

- 1) Коэффициент сжимаемости, модуль деформации, угол внутреннего трения, удельное сцепление, модуль упругости.
- 2) Удельное сцепление, модуль упругости.
- 3) Плотность, влажность, пористость, минеральные частицы.
- 4) валуны, пыль, щебень, дресва.

51. Что такое напряжение?

- 1) Увеличение объема при нагревании.
- 2) Сжатие грунта под фундаментом.
- 3) Нагрузка от складированного материала.
- 4) Нагрузка на единицу площади.

52. Что такое испытание грунтов на срез?

- 1) Срез части образца грунта режущим инструментом.
- 2) Испытание грунтов в лабораторных условиях на срезных (сдвиговых) приборах для определения прочностных характеристик грунтов основания.
- 3) Срезка почвенно-растительного слоя при планировке строительной площадки.
- 4) Разделение образца грунта на 2 равные части.

53. Что такое природная плотность грунта?

- 1) Масса единицы объема частиц грунта.
- 2) Масса единицы объема грунта природного сложения.
- 3) Вес единицы объема грунта природного сложения.
- 4) Вес единицы объема сухого грунта.

54. Где используется активное давление?

- 1) В расчете деформаций грунтов.
- 2) При определении нарушений в грунте.
- 3) В расчетах подпорных стен.
- 4) При расчете несущей способности грунтов.

55. Что такое контактная задача?

- 1) Задача определения напряжений в массиве грунта.
- 2) Определение деформаций грунтов.
- 3) Задача определения напряжений по подошве фундамента.
- 4) Задача определений по контакту частиц.

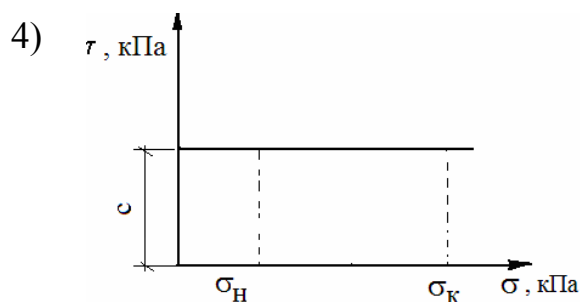
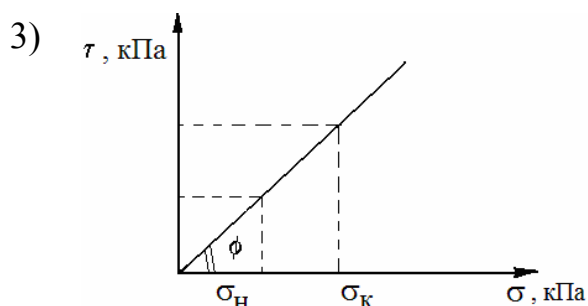
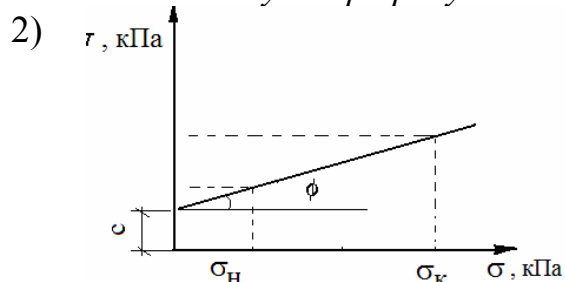
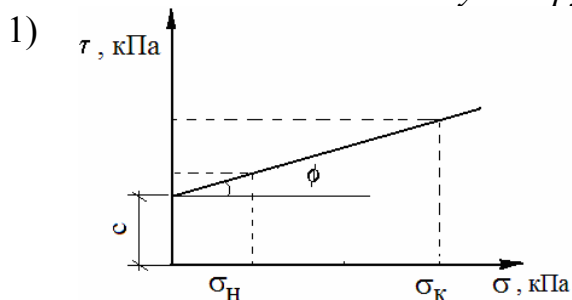
56. Что такое задача Буссинеска?

- 1) Определение напряжений в грунте от сосредоточенной силы.
- 2) Расчет действующих внешних нагрузок.
- 3) Определение напряжений от распределенной нагрузки.
- 4) Определение осадок фундаментов.

57. Что такое просадочный грунт?

- 1) Грунт, обладающий повышенной сжимаемостью.
- 2) Грунт, размокающий при замачивании.
- 3) Глинистый грунт, содержащий большое число видимых невооруженным глазом пор (макропор) и обладающий просадкой.
- 4) Грунт, изменяющий первоначальный объем при уплотнении.

58. Зависимость предельного сопротивления сдвигу $\tau_{пред}$ от вертикального давления σ для сыпучих грунтов соответствует графику...



59. Как определить наименование глинистого грунта?

- 1) по способности служить водупором;
- 2) по числу пластичности I_p ;
- 3) по цветовой окраске;
- 4) по показателю текучести I_L .

60. *Что такое физические характеристики грунтов?*

- 1) Характеристики, определяемые на глаз.
- 2) Характеристики, определяемые при ударных воздействиях.
- 3) Характеристики, списанные у товарища.
- 4) Характеристики, определяемые испытаниями без приложения фиксированных внешних нагрузок.

61. *Что относится к деформативным характеристикам грунтов?*

- 1) Коэффициент сжимаемости, модуль деформации, модуль упругости.
- 2) Степень уплотнения, степень влажности.
- 3) Коэффициент водонасыщения, объем пор.
- 4) Число пластичности, показатель текучести.

62. *Что называют основанием?*

- 1) Массив грунта за пределами сооружения.
- 2) Нижняя опорная часть сооружения.
- 3) Массив грунта, непосредственно прилегающий к подошве фундамента и воспринимающий передаваемые на него нагрузки.
- 4) Грунт выше подошвы фундамента.

63. *Что такое пассивное давление?*

- 1) Касательное напряжение в грунте.
- 2) Давление ограждения на грунт.
- 3) Давление грунта на ограждение.
- 4) Нормальное давление грунта.

64. *Что такое компрессионная кривая?*

- 1) Зависимость $e = f(\sigma)$.
- 2) Зависимость между весом и массой.
- 3) Часть дуги окружности.
- 4) Уравнение $\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c$.

66. *Что такое активное давление грунта на подпорную стенку?*

- 1) Горизонтальное давление подпорной стенки на грунт.
- 2) Горизонтальное давление в уровне подошвы подпорной стенки.
- 3) Давление грунта на подпорную стену при ее смещении от грунта.
- 4) Вертикальное давление в уровне подошвы подпорной стенки.

67. *Что относится к прочностным характеристикам грунтов?*

- 1) Коэффициент пористости, степень уплотнения.
- 2) Угол внутреннего трения и удельное сцепление.
- 3) Коэффициент поперечного расширения, содержание растительных остатков.
- 4) Объем пор, коэффициент размягчения.

68. *Что такое плотность минеральных частиц?*

- 1) Вес единицы объема грунта природного сложения.
- 2) Масса единицы объема природного грунта.
- 3) Масса единицы объема сухого грунта.
- 4) Масса единицы объема частиц грунта.

69. *Что относится к физическим характеристикам грунтов?*

- 1) Уплотняющее давление, модуль сдвига.
- 2) Угол внутреннего трения, удельное сцепление.
- 3) Природные влажность и плотность, пористость и коэффициент пористости, плотность сухого грунта и частиц грунта, степень влажности, число пластичности и показатель текучести.
- 4) Модуль упругости, коэффициент Пуассона.

70. *Что такое механические характеристики грунтов?*

- 1) Характеристики, взятые из таблиц по справочнику.
- 2) Показатели, определяемые при увлажнении грунта.
- 3) Характеристики, определяемые при высыхании грунта.
- 4) Характеристики, определяемые испытаниями путем приложения конкретных, фиксированных внешних нагрузок.

71. *Что такое природная влажность грунта?*

- 1) Отношение масс воды и сухого грунта в образце.
- 2) Объем воды в порах грунта.
- 3) Общее количество воды в образце.
- 4) Относительная влажность воздуха.

72. *Что такое испытание грунтов на срез?*

- 1) Срез части образца грунта режущим инструментом.
- 2) Разделение образца грунта на 2 равные части.
- 3) Срезка почвенно-растительного слоя при планировке строительной площадки.
- 4) Испытание грунтов в лабораторных условиях на срезных (сдвиговых) приборах для определения прочностных характеристик грунтов основания.

73. *Что называется мерзлым грунтом?*

- 1) Грунт, отсыпанный на лед, имеющий плюсовую температуру.
- 2) Грунт, сохраняющий мерзлое состояние более 3 лет.
- 3) Грунт, холодный на ощупь.
- 4) Мерзлым называется грунт, имеющий отрицательную температуру и содержащий в себе лед.

74. При определении напряжений в грунте учитывается допущение, что грунт является

- 1) сплошным телом;
- 2) малосжимаемым;
- 3) водопроницаемым;
- 4) анизотропным материалом.

75. Тангенс угла наклона отрезка компрессионной кривой к оси давлений ($\operatorname{tg}\alpha$), характеризующий сжимаемость грунта в диапазоне давлений, называется коэффициентом....

- 1) сжимаемости;
- 2) набухания;
- 3) относительной сжимаемости;
- 4) пористости.

76. Глинистыми называют частицы, размер зерен которых...

- 1) 0,01 мм;
- 2) 1 мм;
- 3) > 2 мм;
- 4) $< 0,005$ мм.

77. Водопроницаемостью называется свойство грунта....

- 1) заполнять все поры водой, при этом увеличиваясь в объеме;
- 2) иметь в своем составе различные виды воды;
- 3) пропускать через поры сплошной поток воды;
- 4) заполнять поры водой.

78. При действии сплошной нагрузки, распространенной на значительные расстояния в стороны, грунт испытывает напряженное состояние, аналогичное...

- 1) компрессионному сжатию в стабилometре;
- 2) возникающему при испытании грунта крыльчаткой;
- 3) возникающему в сдвиговом приборе;
- 4) компрессионному сжатию без возможности бокового расширения.

79. Сопротивление грунтов сдвигу по формуле закона Кулона обусловлено наличием в грунте

- 1) пористости грунта;
- 2) сил трения и сцепления;
- 3) поровой воды;
- 4) касательных напряжений.

80. Удельным весом природного грунта называется ...

- 1) отношение массы твердых частиц к объему образца грунта;
- 2) отношение массы твердых частиц к их объему;
- 3) отношение суммы масс твердых частиц и воды в порах, умноженной на ускорение свободного падения, к сумме объема твердых частиц и объема пор;
- 4) отношение массы твердых частиц, умноженной на ускорение свободного падения, к сумме объема твердых частиц и объема пор.

81. Решения теории упругости применяются для грунтов, находящихся в напряженно-деформируемом состоянии...

- 1) в фазе выпора;
- 2) при давлении, превышающем расчетное сопротивление грунта;
- 3) в фазе развития деформаций сдвига грунта под краями штампа;
- 4) в фазе линейной деформируемости.

82. Определение осадки грунта при сплошной равномерно распределенной нагрузке не требует использования таких характеристик грунта, как...

- 1) коэффициент относительной сжимаемости m_v ;
- 2) модуль общих деформаций E_0 ;
- 3) коэффициент сжимаемости m_0 ;
- 4) влажность и гранулометрический состав.

СПИСОК ВОПРОСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО КУРСУ «МЕХАНИКА ГРУНТОВ»

1. Состав грунта. Фазовые характеристики (физические свойства).
2. Консистенция (состояние) глинистого грунта.
3. Одноосное и трехосное сжатие грунта. Компрессионные испытания грунтов.
4. Зависимость между изменением пористости и осадкой грунта при компрессии.
5. Зависимость между коэффициентом сжимаемости и модулем деформации грунта.
6. Теории прочности грунта. Определение параметров прочности в лаборатории.
7. Сопротивление сдвигу водонасыщенных глинистых грунтов. Три вида испытаний.
8. Критическая пористость и внезапное разжижение песка.
9. Зависимость между главными напряжениями при разрушении грунта.
10. Активное и пассивное давление грунта. Давление покоя.
11. Давление грунта на гладкую стенку при горизонтальной засыпке. Поверхности скольжения.
12. Определение активного давления на стенку по Кулону (аналитический метод).
13. Учет нагрузки на поверхности засыпки и сцепления грунта при определении активного давления.
14. Задача Буссинеска.
15. Напряжения в грунте от нагрузки, равномерно распределенной по площади прямоугольника. Метод угловых точек.
16. Определение осадок сооружений с помощью непосредственного применения теории упругости. Формула Шлейхера. Испытание грунтов Штампом.
17. Определение осадки фундамента методом послойного суммирования.
18. Определение осадки фундамента методом эквивалентного слоя Н.А. Цытовича.
19. Распределение напряжений по подошве фундамента. Контактная задача.
20. Фазы деформации грунта.
21. Напряжения в грунте от нагрузки, равномерно распределенной по полосе (под ленточным фундаментом).
22. Зарождение области предельного равновесия под ленточным фундаментом. Формула Пузыревского.
23. Расчетное сопротивление грунтов основания.
24. Понятие о расчете устойчивости оснований. Инженерные методы расчета.
25. Расчёт устойчивости откосов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнение лабораторных работ является важнейшей составляющей учебного процесса. Именно здесь студенты приобретают навыки практического применения и закрепления полученных теоретических знаний, встречаются с реальными проблемами строительной индустрии.

В настоящих методических указаниях рассмотрена только часть теоретических вопросов, нуждающихся в углубленной проработке на лабораторных занятиях. В дальнейшем авторы планируют увеличить количество лабораторных работ, включив испытания грунтов с использованием измерительно-вычислительного комплекса (ASIS) по определению физико-механических характеристик грунтов, например: определение параметров прочности и деформируемости грунта в условиях трехосного сжатия, определение гранулометрического состава песчаных и глинистых грунтов различными методами, испытания грунтов штампами, определение несущей способности свай по результатам статических испытаний, статического и динамического зондирования и т.п.

По мере улучшения материально-технической базы в лабораторные работы по определению физико-механических характеристик грунтов будут включаться более совершенные методики и лабораторное оборудование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений [Текст]. – М.: ЦИТП Госстрой, 1996.
2. Пособие по проектированию оснований и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) НИИОСП им. Н.М. Герсеванова [Текст]. – М.: Стройиздат, 1986.
3. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты [Текст]. – М.: Госстрой СССР, 1986.
4. ГОСТ 25100-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
5. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация/внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство» [Текст]. – М.: МНТКС, 2013.
6. ГОСТ 12071-84. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов [Текст]: утв. и введен Госкомитетом 20.09.1984 г. Переиздание: июнь 1994 г.
7. Болдырев, Г.Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах) [Текст]: учеб. пособие / Г.Г. Болдырев, М.В. Малышев. – 4-е изд., перераб. и доп. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 412 с.
8. Кошкина, Н.В. Геотехническое обоснование условий строительства [Текст]: учеб. пособие / Н.В. Кошкина, О.В. Хрянина. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 196 с.
9. Чаповский, Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов [Текст] / Е.Г. Чаповский. – М.: Стройиздат, 1975.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ | 5 |
| 2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ..... | 16 |
| 3. ОТБОР ОБРАЗЦОВ ГРУНТОВ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ | 18 |
| Лабораторная работа №1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА..... | 20 |
| Лабораторная работа № 2 МЕТОД ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА..... | 21 |
| Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ ГРУНТА..... | 25 |
| Лабораторная работа № 4 МЕТОД ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СЛОЖЕНИЯ ПЕСКА | 27 |
| Лабораторная работа № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТОГО ГРУНТА..... | 28 |
| Лабораторная работа № 6 КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ..... | 32 |
| Лабораторная работа № 7 ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПРОСАДОЧНОСТЬ ГРУНТОВ..... | 38 |
| Лабораторная работа № 8 ИСПЫТАНИЕ ГРУНТОВ НА СРЕЗ | 39 |
| ЭЛЕМЕНТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МЕХАНИКЕ ГРУНТОВ (УИРС)..... | 44 |
| ВОПРОСЫ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ПО КУРСУ «МЕХАНИКА ГРУНТОВ»..... | 45 |
| ВОПРОСЫ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ПО КУРСУ «МЕХАНИКА ГРУНТОВ»..... | 46 |
| СПИСОК ВОПРОСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО КУРСУ «МЕХАНИКА ГРУНТОВ»..... | 60 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 61 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 62 |

Учебное издание

Хрянина Ольга Викторовна
Глухов Вячеслав Сергеевич

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова

Редактор М.А. Сухова
Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 13.05.2014. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 3,72. Уч.-изд.л. 4,0. Тираж 80 экз.
Заказ №155.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28