	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет»	Приложение к ОПОП ВО
		Методические указания

Б1.О.10 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к выполнению лабораторных работ

Направление подготовки
08.04.01 Строительство

Профиль подготовки
Механика грунтов, геотехника и геоэкология

Квалификация (степень) выпускника
магистр

Уфа 2024

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета природопользования и строительства (протокол № 7 от 21.03.2024г.)

Составитель: канд. техн. наук, доцент Глазачев А.О.

Рецензент: зав. кафедры кадастра недвижимости и геодезии, кан. с-х. наук. доцент М.Г. Ишбулатов


Ответственный за выпуск: зав. кафедрой природообустройства, строительства и гидравлики доцент Хасанова Л.М.

Уфа, БГАУ, кафедра природообустройства, строительства и гидравлики


СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	2
СОСТАВ, ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ И ИХ ПОКАЗАТЕЛИ	3
МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТОВ	5
ВЛАГОЕМКОСТЬ ГРУНТОВ.....	6
УСАДКА ГРУНТОВ И ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ.....	7
ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ГРУНТОВ	18
Лабораторная работа № 1	
Определение оптимальной влажности и оптимальной плотности сухого грунта.....	10
Лабораторная работа № 2	
Определение размокания грунтов.....	12
Лабораторная работа № 3	
Определение коэффициента набухания глинистых грунтов...	14
Лабораторная работа № 4	
Определение липкости глинистых грунтов.....	16
Библиографический список.....	19

ВВЕДЕНИЕ

 Работы по испытанию грунтов для строительства проводятся в соответствии с нормативными документами (ГОСТ, СН, ВСН, СНиП), которые по мере необходимости периодически изменяются и дополняются. Все методы испытаний грунтов основаны на учете многолетних определений и современном уровне развития грунтоведения.

Порядок взятия и подготовка грунтов для испытания

 Испытания грунтов в лабораториях проводятся на образцах, извлеченных из шурфов и скважин, с ненарушенным (монолитах) и с нарушенным сложением. Отбор, упаковка, хранение и транспортирование образцов производятся в соответствии с ГОСТ [1]. Образцы грунтов отбирают из каждого генетического горизонта выработок. Монолиты (образцы с ненарушенным сложением) берут в форме куба или параллелепипеда размерами не менее 100 и не более 250 мм. Стенку или дно выработки зачищают и намечают контур монолита несколько больших размеров, вырезают грунтовый столбик, отделяя его от массива. Грани монолита выравнивают, доводя до нужных размеров. Если грунт не может сохранять форму вырезаемых образцов, монолиты берут при помощи режущего кольца с внутренним диаметром не менее 90 мм, высотой не менее одного и не более двух диаметров кольца. Из скважин монолиты отбирают с уровня зачищенного забоя. На всех извлеченных монолитах указывают «верх» путем размещения этикетки с номером образца. Для сохранения естественной влажности отобранные монолиты немедленно оборачивают марлей и парафинируют специальной пастой, укладывая этикетку.

Образцы грунтов с нарушенным сложением из шурфов и расчисток отбирают при помощи ножа и лопаты. Пробу грунтов берут из скважин. Пробы с нарушенным сложением без сохранения естественной влажности берут в любую тару, обеспечивающую сохранение мелких частиц грунта (мешочки из плотной ткани или водостойкой бумаги). Внутри тары кладут этикетку, завернутую в кальку, покрытую слоем парафина. Второй экземпляр этикетки наклеивают на тару.

Образцы грунтов с нарушенным сложением, в которых требуется сохранить естественную влажность, укладывают в металлические или пластмассовые банки (бюксы) с герметически закрывающимися крышками. Горловину банки с крышкой парафинируют. Для отправки в лаборатории, расположенные на большом расстоянии от места отбора проб, образцы упаковывают в деревянные ящики.


Для учебных целей испытания грунтов могут производиться на грунтовых пастах, которые предварительно готовятся в лаборатории.

Описание свойств грунтов, определение наименования грунтов, прогноз реакции основания на проектную нагрузку в строительный и эксплуатационный периоды основываются на анализе результатов оценки состава, состояния и свойств грунтов. Такой анализ необходимо выполнять с учетом геологического строения изучаемого района, участка или площадки с одной стороны и условий работы и эксплуатации проектируемого сооружения - с другой.

Дисперсность грунтов, наличие порового пространства, частично или полностью заполненного водой, слабые структурные связи между частицами обуславливают многообразие и изменчивость свойств грунтов. Для описания этих свойств используют большое количество показателей, совокупность которых характеризует специфические особенности того или иного грунта.

Показатели свойств грунтов подразделяют на физические, определяющие природное (естественное) состояние грунтов, и механические, характеризующие поведение грунта под нагрузкой, вызванной зданием или сооружением.

СОСТАВ, ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ И ИХ ПОКАЗАТЕЛИ

 **Грунт** - это горная порода, а иногда твёрдые отходы производственной деятельности человека, представляющие собой многокомпонентную систему, изменяющуюся во времени и используемую как основание, среда или материал для возведения фундаментов зданий и инженерных сооружений.

Для рационального использования грунтов в строительной практике проводят инженерно-геологические исследования (ИГИ), включающие определение физических, водных, прочностных и деформационных свойств. Комплексные ИГИ осуществляются как в лабораторных, так и в полевых условиях.

I Физические свойства грунтов характеризуют их физическое состояние в условиях природного (нечтупенного) залегания.

Вещественный состав грунта: химико-минеральный состав вещества твердых, жидких, газовых и биологических (живых) компонентов грунта [2].

Вещественный состав грунта включает в себя:

- а) твердую минеральную массу, состоящую из первичных частиц **скелета грунта** (обломков горных пород и минералов) и вторичных частиц, служащих цементирующим веществом грунта;
- б) **органические вещества**, которые могут быть представлены торфом (грубой полуразложившейся массой растительных остатков) и гумусом (продуктом разложения растительных остатков в виде темного бесструктурного вещества);
- в) **воду** в различных агрегатных состояниях и количествах (от десятых долей процента до полного водонасыщения).

Удельный вес γ – это отношение полного веса образца грунта к полному объему, который он занимает, включая объем пор.

Плотность ρ – это отношение массы твердых частиц грунта к их объему. Эта характеристика зависит только от плотности слагающих грунт минералов. Кроме того, различают еще несколько подобных характеристик, учитывающих содержание в грунте воды, газов и т.д. (объемная масса скелета грунта, объемная масса абсолютно сухого грунта, объемная масса влажной породы).

Пористость n – суммарный объем всех пор в единице объема грунта, независимо от их величины, заполнения и характера взаимосвязи. Коэффициент пористости равен отношению объёма пустот к объёму твёрдой фазы грунта, выраженному в долях единицы.

Влажность W – это содержание в грунте того или иного количества воды. Выделяют несколько разновидностей этой характеристики (естественная, весовая, объёмная).

II Свойства, проявляющиеся при взаимодействии с водой - возникают в грунтах при взаимодействии их с водой или характеризуют отношения грунтов к воде.

Пластичность - способность грунта изменять форму без нарушения сплошности под воздействием внешних усилий и сохранять приданную форму после устранения воздействия. Пластичность грунтов изменяется в зависимости от количества и качества находящейся в грунте воды. Характеризует глинистые грунты и бывает твёрдой, пластичной или текучей.

Липкость - способность грунтов, содержащих глинистые частицы, при определенном содержании воды прилипать к предметам. Определяется усилием (МПа), которое надо приложить, чтобы оторвать предмет от грунта.

Размокаемость - способность грунта при погружении в спокойную воду терять связность и превращаться в рыхлую массу с полной или частичной потерей несущей способности.

Размягчаемость - уменьшение прочности грунта под влиянием увлажнения. Характеризуется коэффициентом размягчаемости, который равен отношению прочности водонасыщенного грунта к прочности сухого грунта.

Набухание - способность грунтов, содержащих глинистые частицы, увеличиваться в объёме при увлажнении.

Усадка - процесс снижения объёма глинистых грунтов при высыхании.

Влагоёмкость (гигроскопическая, максимальная молекулярная) - способность грунтов вмещать в порах и удерживать на поверхности частиц то или иное количество воды.

Водоотдача - способность грунта, насыщенного водой, отдавать её под действием силы тяжести.

Капиллярность - наличие в грунте мелких пор различного сечения, формы и ориентации в пространстве, способствующих поднятию по ним некоторого количества воды из водоносного слоя в вышележащие слои.

Водопроницаемость - способность грунта пропускать через себя некоторое количество воды в единицу времени.

Водонасыщение - это свойство дисперсных грунтов впитывать и удерживать в себе свободную воду.

III Механические свойства проявляются при приложении к грунтам внешних усилий:

Деформируемость грунтов проявляется в изменении формы и объёма при воздействии внешних усилий, не приводящих к разрушению. Зависит от вида грунта, его структуры, пористости, состава, влажности.

Прочность - степень сопротивления грунта разрушающему воздействию на него внешних сил.

IV Химические свойства грунтов проявляются в зависимости от наличия в их составе некоторых компонентов:

Растворимость грунтов в воде зависит как от химического состава грунта, так и от состава воды.

Засоленность (степень засоленности) - содержание легко- и среднерастворимых солей в процентах от массы абсолютно сухого грунта. К легкорастворимым солям относятся: хлориды NaCl , CaCl_2 , KCl , MgCl_2 ; бикарбонаты NaHCO_3 , Na_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$; карбонат натрия Na_2CO_3 , сульфаты магния и натрия MgSO_4 , Na_2SO_4 . К среднерастворимым солям относятся гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и ангидрит CaSO_4 .

МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Искусственно улучшенные основания устраивают в тех случаях, когда естественные основания оказываются недостаточно прочными, сильно сжимаемыми и их использование в строительных целях невозможно. Идея искусственного изменения состава и свойств грунтов возникла в XVIII веке.

В целом методы искусственного преобразования строительных свойств грунтов можно подразделить на три группы:

- 1 **Конструктивные**, которые, хотя и не улучшают самих свойств грунтов, но улучшают их работу как основания за счет изменения напряженного состояния и более благоприятных условий деформирования. Грунтовые условия, в которых применяются данные методы: слабые сильносжимаемые грунты в текучем состоянии, торфы, заторфованные и насыпные грунты, просадочные грунты, илы и другие слабые грунты, залегающие под слоем воды.
- 2 **Механическое уплотнение грунтов** – поверхностное и глубинное уплотнение грунтов. Грунтовые условия, в которых применяются данные методы: макропористые просадочные грунты, рыхлые песчаные грунты.
- 3 **Закрепление** грунтов, улучшающее их прочностные свойства, – цементация, силикатизация, закрепление синтетическими смолами (карбамидными), термическое закрепление (обжиг), закрепление с использованием высоконапорных инъекций и струйной технологии и др. Выбор метода закрепления зависит от грунтовых условий, в которых применяется тот или иной метод.

ВЛАГОЁМКОСТЬ ГРУНТОВ

📖 Способность грунтов удерживать в своих порах воду называется **влажностью**. Влажность бывает: гигроскопическая, максимальная молекулярная, капиллярная или относительная, полная.

Содержание воды в воздушно-сухом грунте, удаляемой высушиванием при температуре $100...105^{\circ}\text{C}$, называется **гигроскопической влажностью**.

Гигроскопической влажностью называется способность частиц грунта притягивать из воздуха парообразную влагу.

Максимальной молекулярной влажностью называется способность грунта удерживать в себе влагу силами молекулярного сцепления между частицами грунта и водой.

Капиллярной или **относительной** называется влажность, при которой вода заполняет в грунте только капиллярные поры. Влажность, при которой все поры грунта заполнены водой, а коллоидная часть набухла, называется **полной** или **максимальной**.

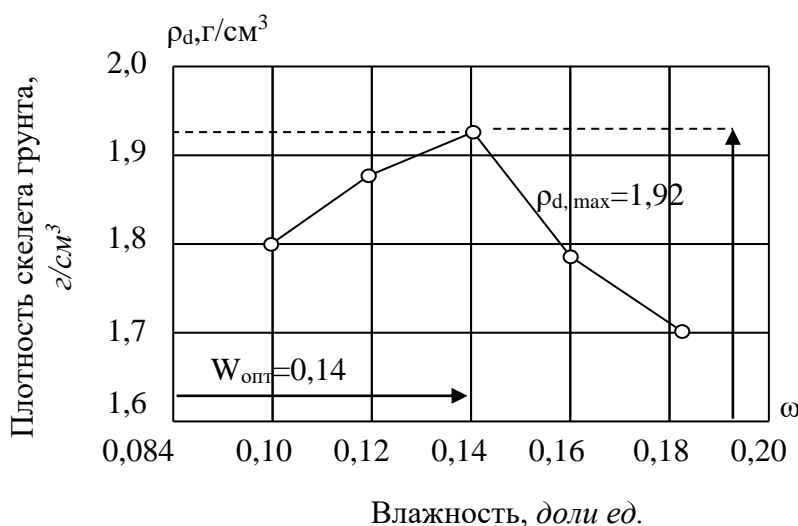
Оптимальной называется влажность грунта W_{opt} , при которой достигается максимальная плотность скелета грунта при уплотнении, например насыпных грунтов. **Максимальная плотность** скелета грунта определяется по ГОСТ [4]. Оптимальная влажность W_{opt} , при которой достигается максимальная плотность скелета грунта $\rho_{d,max}$ (рисунок 1), определяется лабораторным методом с помощью прибора СоюздорНИИ.

Значения плотности $\rho_{d,max}$ контролируется при возведении различных насыпей. Качество уплотнения оценивается путём сравнения фактического коэффициента уплотнения $k_{факт}$ с минимально требуемым k_{min} .

Значение k_{min} зависит от глубины расположения слоя грунта в насыпи, типа покрытия и дорожно-климатической зоны. По данным норм, минимальный коэффициент уплотнения может изменяться в пределах $k_{min}=0,90...1,0$.

Фактический коэффициент уплотнения определяется по выражению

$$k_{факт} = \frac{\rho_d}{\rho_{d,max}},$$



где $\rho_{d,max}$ — максимальная плотность скелета грунта; ρ_d — плотность скелета грунта, определённая по образцам, отобранным с различных глубин из тела насыпи.

Грунты в насыпях рекомендуется уплотнять при их влажности, равной оптимальной или близкой к ней, для получения

Рисунок 1 — Зависимость плотности скелета грунта от влажности (кривая стандартного уплотнения)

максимальной плотности грунта. Поэтому фактическую влажность грунта W сравнивают с оптимальной W_{opt} . Если $W < W_{opt}$, то по значениям W и W_{opt} вычисляют объём воды для доувлажнения грунта перед его уплотнением.


Оптимальная влажность и максимальная плотность скелета грунта определяются с помощью прибора стандартного уплотнения СоюздорНИИ.

Максимальная плотность скелета грунта $\rho_{d,max}$ г/см³ для некоторых грунтов приведена в таблице 1.

Таблица 1- Оптимальная плотность сухого грунта $\rho_{d,max}$


Грунты	$W_0, \%$	$\rho_{ск. max}, \text{ г/см}^3$
Пески	2-3	1,75-1,95
Супеси	5—10	1,65—1,85
Суглинки	12—18	1,65—1,85
Суглинки тяжелые	14-20	1,60-1,80
Суглинки пылеватые	15-22	1,58-1,78
Глины	16-30	1,55-1,75

УСАДКА ГРУНТОВ И ЕЁ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

 **Усадкой** называется способность влажных грунтов уменьшать свой объем при высыхании.

Величина усадки зависит от минералогического и химического составов грунта, наличия глинисто-коллоидных и песчаных фракций. Глинистые грунты дают большую усадку, а супесчаные, особенно песчаные, очень малую. В лаборатории определяют линейную и объемную усадку.

ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ГРУНТОВ

 **Водопроницаемостью** называют способность грунтов пропускать воду под действием силы тяжести или гидростатического напора. Скорость просачивания воды через грунт зависит от гранулометрического состава, степени уплотнения и температуры.


Просачивание характеризуется коэффициентом фильтрации (см/с или м/сут), т. е. количеством воды, проходящим в единицу времени через поперечное сечение площадью 1 см² при гидравлическом градиенте, равном единице. **Гидравлическим градиентом** называется отношение разности напоров (уровней) воды к длине фильтрационного пути. В таблице 2 приведены примерные величины коэффициентов фильтрации некоторых грунтов.

Коэффициент фильтрации определяют по ГОСТ [5] на различных приборах: трубке СПЕЦГЕО конструкции Е. В. Симонова; приборе КФ-00М для определения коэффициента фильтрации песков; приборе ПК-Ф СоюздорНИИ для определения коэффициента фильтрации песков как в рыхлом состоянии, так и

при стандартном уплотнении; приборе Ф-1М, предназначенном для определения коэффициента фильтрации глинистых грунтов; приборе ПВ-2 для определения водопроницаемости связных грунтов и др.

Таблица 2 - Коэффициенты фильтрации грунтов

ГРУНТ	Эффективный диаметр частицы d_{10} , мм	Коэффициент фильтрации, м/сут
Песок кварцевый речной	0,28	52,7
Песок кварцевый речной	0,22	34,4
Песок кварцевый речной	0,14	16,4
Песок дюнный	0,19	15,9
Песок слюдистый	0,49	11,2
Песок кварцевый речной	0,12	10,2
Супесчаный грунт	-	0,1-1,0
Суглинистый грунт	-	<0,1
Торф	-	0,065
Пылеватый грунт	-	0,00008
Глинистый грунт	-	0,000009
Глина тяжелая	-	0,0000005

 **Размокаемость** - это способность грунтов при погружении в спокойную воду терять связность и превращаться в рыхлую массу с частичной или полной потерей несущей способности.


Инженерно-геологическое значение это явление приобретает в каналах, гидротехнических насыпях и других подобных сооружениях. Конечным результатом размокания является потеря грунтом прочности, отслаивание и оплывание его в откосах.

Как и другие водно-физические свойства, размокание зависит от минерального состава грунта, состава поглощённого комплекса, характера внутренних связей и начальной влажности грунта.


Косвенно размокание характеризует невысокую уплотнённость, склонность к просадочности или низкую прочность внутренних связей. Выражается скоростью (временем) размокания, влажностью размокшего образца и характером распада образца в воде.

К грунтам, подверженным быстрому размоканию, относят лёссы и лёссовидные суглинки, солонцы, пылеватые грунты.

Многие грунты перед размоканием предварительно набухают, после чего теряют сплошность, превращаясь в бесструктурную массу. Некоторые грунты при размокании растрескиваются, расслаиваются на отдельные чешуйки.

 **Набуханием** грунта называется увеличение его объема при взаимодействии с водой. Набухание присуще главным образом глинистым грунтам и определяет их водоустойчивость, зависящую от их состава

(гранулометрического и химико-минерального) и характера связей между частицами.

 **Липкость** - это способность грунтов прилипать к поверхности различных предметов, приходящих с ними в соприкосновение. Липкость зависит: а) от гранулометрического (и отчасти химического и минерального) состава - она характерна для глинистых и пылеватых грунтов. Наибольшей липкостью обладают солонцы и солонцеватые глинистые почвы, а также грунты, содержащие гумус. Песчаные и лёгкие супесчаные грунты практически не обладают липкостью;

б) влажности – начинает проявляться при влажности грунта, несколько превышающей влажность границы раскатывания. С дальнейшим увеличением влажности липкость грунтов возрастает, достигает максимума при влажности, несколько меньшей границы текучести, после чего снова резко уменьшается;

в) силы, с которой производится первоначальное придавливание предмета к грунту;

г) материала, к которому происходит прилипание (стекло, дерево, металл и др.).

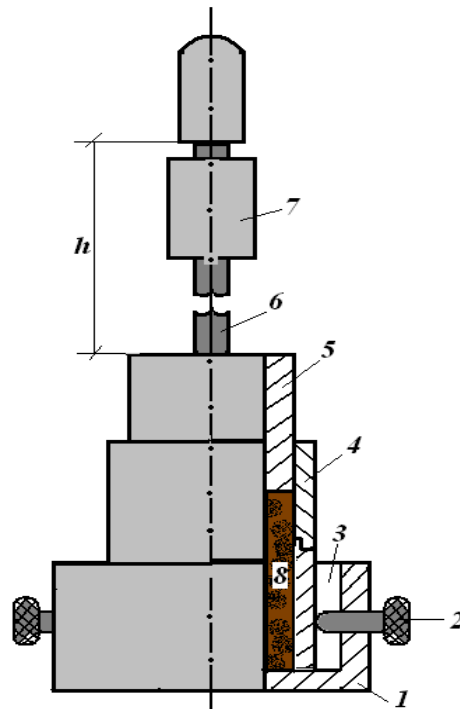
Липкость выражают в паскалях (Па), измеряя усилие, необходимое для отрывания прилипшего предмета от поверхности грунта. Характерными показателями при определении липкости грунта являются влажность начального и максимального прилипания, максимальное значение липкости.

Липкость является отрицательным показателем при оценке строительных качеств грунтов, т.к. вызывает сильные деформации поверхностного слоя грунта из-за налипания его на колеса автомобилей, гусеницы тракторов и рабочие органы землеройных машин. В результате этого затрудняется проезд транспорта по грунтовым дорогам и производство земляных работ по возведению земляного полотна.

Лабораторная работа № 1 **Определение оптимальной влажности** **и оптимальной плотности грунта**

Цель работы: определить оптимальную влажность для грунта, уплотняемого в приборе стандартного уплотнения.

Оборудование: прибор стандартного уплотнения (см. рисунок 2), фарфоровая ступка, пестик с резиновым наконечником, сито с отверстиями диаметром 5 мм, весы, ложка, лист плотной бумаги, восковка, солидол, оборудование для определения весовой влажности, колба с водой, противень.



1 - основание прибора; 2 – винт; 3 – рабочий разъемный цилиндр; 4 – резервный объемный цилиндр; 5 – штамп; 6 – шток; 7 – трамбовка; 8 – грунт

Рисунок 2 - Прибор стандартного уплотнения СоюзДорНИИ

Лабораторное исследование по определению оптимальной влажности и оптимальной плотности глинистого грунта ведется по методике ГОСТ [4].

Ход работы: Определяется наименование грунта по числу пластичности. Образец грунта массой 3 кг в воздушно-сухом состоянии измельчается в фарфоровой ступке и просеивается через сито с отверстиями 5 мм, после чего он взвешивается. Определяется гигроскопическая влажность грунта W_g .

Образец увлажняется для получения начальной влажности W_n . Объем воды для начального увлажнения определяется расчётом. Начальная влажность ориентировочно принимается $W_n = 0,4W_L$, где W_L – граница текучести грунта (см. таблицу 3). После увлажнения грунт в тазике тщательно перемешивается для равномерного распределения влаги в образце.

Разъемный цилиндр вместе с подстаканником взвешиваются.

Затем грунт уплотняется в приборе ударами груза массой 2,5 кг, сбрасываемого с высоты 30 см. Общее число ударов на весь образец принимается равным: для песков и супесей – 75, для суглинков и глин – 120.

Грунт уплотняется в три слоя. Каждый слой уплотняется числом ударов, равным 1/3 от общего числа ударов.

Для уплотнения первого слоя грунт насыпается в прибор примерно на 1/2 его высоты (или несколько выше). После уплотнения первого слоя грунт

досыпается в прибор примерно на полную высоту цилиндра и уплотняется второй слой, а затем – третий.

После окончания уплотнения верхний стакан снимается и выступающий грунт срезается ножом заподлицо с верхней кромкой разъемного цилиндра.

Разъемный цилиндр с подстаканником и уплотнённым грунтом взвешивается с точностью до 1г и результаты взвешивания записываются в журнал испытаний.

Разъемный цилиндр разбирается. Из грунта отбираются в бюксы пробы для определения его влажности.

Затем грунт размельчается в тазике, в него добавляется вода в объёме $V=60 \text{ см}^3$, чтобы увеличить влажность грунта на значение ΔW , определённое расчётом. Грунт тщательно перемешивается, и опыт повторяется.

Испытания производятся до тех пор, пока плотность сухого грунта не станет уменьшаться при увеличении его влажности.

Расчётное приращение влажности ΔW , соответствующее доливаемому в грунт объёму воды V в каждом последующем опыте, определяется по формуле

$$\Delta W = \frac{V(1 + W_{\text{г}})\rho_w}{m} = \dots$$

где ρ_w – плотность воды, $\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$.

Таблица 3 – Данные образца грунта перед испытанием

Показатель	Обозначение	Ед. изм.	Кол.
Масса воздушно-сухого грунта, взятого для испытаний, m г	m	г	
Гигроскопическая влажность грунта $W_{\text{г}}$	$W_{\text{г}}$	д.е.	
Начальная влажность грунта	$W_{\text{н}}=0,4 W_{\text{Л}}$	д.е.	
Объём воды, доливаемой в грунт для создания начальной влажности	$V = \frac{W_{\text{н}} - W_{\text{с}}}{1 + W_{\text{с}}} \cdot \frac{m}{\rho_w}$	см^3	

Результаты измерений и вычислений характеристик грунта приводятся в журнале испытаний (см. таблицу 4).

В учебных испытаниях влажность грунта в каждом опыте разрешается определять расчётом по формуле

$$W_i = W_{\text{г}} + \Delta W(i - 1),$$

где i – номер опыта.

При этом не учитываются потери на испарение во время перемешивания и уплотнения грунта. В опытах для производства обязательно непосредственное определение влажности путём высушивания до постоянной массы проб грунта, отобранных в каждом опыте. В полевых условиях влажность может определяться с помощью влагомера-плотнометра.

По данным таблицы 4 строится график зависимости плотности сухого грунта от влажности, аналогичный изображённому на рисунке 1.

Таблица 4 – Журнал испытаний грунта _____.

Номер Опыта	Масса пустого стакана m_0 , г	Масса стакана с грунто м $m_Г$, г	Объём стакана , $см^3$	Плотность грунта $\rho = \frac{m_Г - m_0}{1000}$, $г/см^3$	Влажность грунта		Плотность сухого грунта $\rho_a = \frac{\rho}{1+W}$, $г/см^3$
					определённая расчётом $W_i = W_i + \Delta W(i-1)$	определённая опытом	
1			1000				
2			1000				
3			1000				
4			1000				
5			1000				
6			1000				

Вывод: получены значения оптимальной влажности и оптимальной плотности сухого грунта:

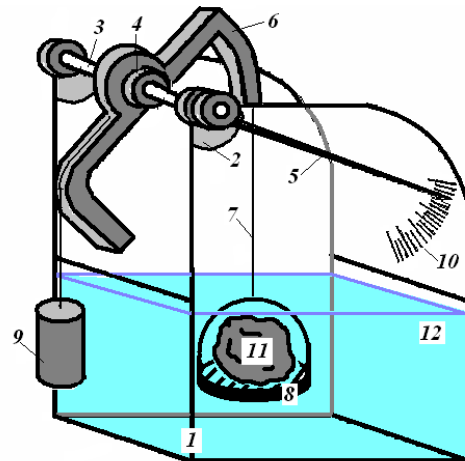
оптимальная влажность $W_0 = \dots$;

оптимальная (максимальная) плотность сухого грунта $\rho_{\max} = \dots$ г/см³.

Лабораторная работа № 2 Определение размокания грунтов

Цель работы: определить размокание образцов грунта с помощью прибора ПРГ 1.

Оборудование: прибор ПРГ-1 (рисунок 3), нож, штангенциркуль, оборудование для определения влажности грунта, часы.



1- корпус из оргстекла; 2 – опора; 3 – ось; 4 - гайка; 5 – стрелка; 6 – рычаг; 7 – гибкая связь; 8 – сетка с отверстиями 10 мм; 9 – противовес; 10 – шкала; 11 – образец грунта; 12 – вода

Рисунок 3 – Прибор ПРГ-1

Лабораторное исследование по размокаемости глинистого грунта ведется по методике, приведенной [7]. Характер размокания глинистого грунта оценивается по таблице 5 [7].

Таблица 5 – Характер размокания

Время размокания образца	Характеристика размокания
Полностью за 1 мин	Мгновенное
Более 80-90% объема за 30 мин	Очень быстрое
Более 50% объема за 1 час	Быстрое
Менее 50% объема за 6 час	Медленное
Менее 25% объема за 24 час	Очень медленное
Менее 10% объема за 48 час	Практически не размокающий грунт

Ход работы:

- 1 Из монолита вырезать кубик размером 30×30×30 мм или цилиндр диаметром 30 мм и высотой 30 мм.
- 2 Одновременно отобрать пробу для определения естественной влажности.
- 3 Заполнить корпус прибора дистиллированной водой на 10 см ниже его верхних краёв. Стрелка прибора в это время должна занимать центральное нулевое положение.
- 4 Два отобранных образца положить на сетку прибора и плавно погрузить в воду. Записать первоначальный отсчёт.
- 5 Наблюдения за скоростью размокания ведут через 1, 5, 10, 30, 60 минут и далее через 6, 24 и 48 часов. Результат заносим в таблицу 6.
- 6 Опыт прекратить после указанного промежутка времени или когда грунт полностью пройдет через сетку.

Степень размокания (в процентах) определяется по формуле

$$R = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \cdot 100\% ,$$

где H_0 - начальная числовая отметка шкалы; H_1 – текущий отсчет

Таблица 6 – Определение размокания грунта

Время от размокания, мин	Отсчет по шкале		Степень размокания R%	Характер размокания
	Начальный H_0	Текущий H_1		

--	--	--	--	--

Вывод: по данным проведенной работы у предложенного образца грунта характеристика размокания _____.

Лабораторная работа № 3 Определение коэффициента набухания глинистых грунтов

Цель работы: определить оптимальную влажность для грунта, уплотняемого в приборе стандартного уплотнения.

Оборудование: режущее кольцо, снабженное кольцом с насадкой, нож, сито с отверстиями 1 мм, фарфоровая или металлическая чашка, шпатель, прибор для определения набухания глинистых грунтов (ПНГ) (см. рисунок 4).

Лабораторное исследование по набухаемости глинистого грунта ведется по методике ГОСТ [3].

Ход работы:

1 С помощью шаблона часть образца выдавливают из насадки и срезают ножом так, что высота образца (исходная) была равной 10 мм. С двух сторон образец покрывают фильтровальной бумагой и устанавливают на донце прибора. Сверху в насадку устанавливают штамп и укрепляют скобу.

2 С помощью винта 2 устанавливают индикатор 1 в нулевое положение. Собранный прибор аккуратно опускают в ванночку и устанавливают на жесткое основание.

3 В ванночку заливают воду (или исследуемый раствор) и фиксируют время начала опыта. Воду наливают до уровня затопления донца и следят за постоянством уровня, периодически доливая воду. После замачивания образца регистрируют деформации через 5, 10, 30, 60 мин и далее через 2 ч в течение рабочего



1 – индикатор; 2 – винт; 3 – обойма; 4 – поршень; 5 – режущее кольцо;

6 – перфорированный поддон; 7 – ванночка.

Рисунок 4 - Прибор ПНГ для определения набухания грунтов

дня, а затем в начале и конце рабочего дня до достижения условной стабилизации деформаций. В случае отсутствия набухания замачивание производят в течение 3 суток. За начало набухания принимается относительная деформация, превышающая 0,001. За критерий условной стабилизации деформаций свободного набухания принимается абсолютная деформация не более 0,01 мм за 16 ч. Все данные измерений заносятся в журнал по образцу.

4 По окончании опыта прибор разбирают, воду сливают, кольцо с влажным грунтом (без фильтров) взвешивают и производят контрольное измерение высоты образца грунта в кольце. Берут пробу на влажность, которую высушивают в термостате при температуре 105 ± 2 °С.

Обработка результатов. По результатам проведенных измерений рассчитывают абсолютную деформацию набухания Δh (в мм) и относительную деформацию образца $\delta = \Delta h / h_0$ (в долях ед. с погрешностью 0,001 для каждого момента времени). По конечному значению δ определяется величина свободного набухания (δ_0).

Пример определения набухаемости по результатам испытаний:

Определение набухания грунтов

Грунт _____ Место отбора _____
Начальная влажность, % _____ Начальная плотность, г/см _____

Таблица 7

Время от начала набухания t , мин	Отсчет по индикатору h_i , мм	Абсолютная деформация набухания $\Delta h = h_i - h_0$, мм	Относительная деформация набухания $\delta = \Delta h / h_0$, ед	Степень набухания δ_0 , %	Влажность набухания w_H , %
0	1,00	0	0	0	46,0
5	1,03	0,03	0,003	0,3	
Свободное набухание $\delta_0 = 0,124$ (или 12,4%)					

По относительной деформации набухания без нагрузки ε_{sw} подразделяют согласно таблице 8.

Вывод: согласно таблице ГОСТ [2] глинистый грунт _____ относится к _____.

Таблица 8 – Относительная деформация набухания ε_{sw} [2]

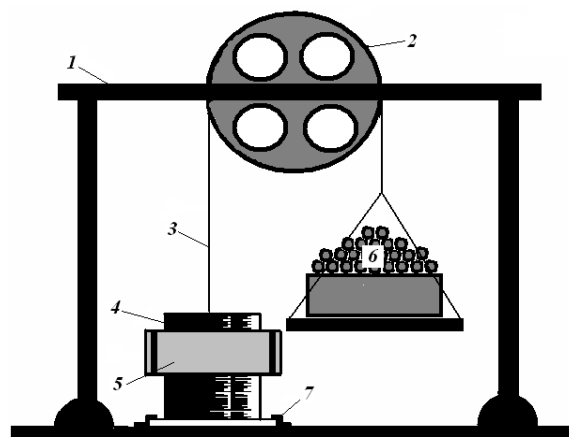
Разновидность глинистых грунтов	Относительная деформация набухания без нагрузки ε_{sw} , д. е.
Ненабухающий	$\varepsilon_{sw} < 0,04$
Слабонабухающий	$0,04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,08$
Средненабухающий	$0,08 < \varepsilon_{sw} \leq 0,12$
Сильнонабухающий	$\varepsilon_{sw} > 0,12$

Лабораторная работа № 4 Определение липкости глинистых грунтов

Цель работы: определить удельную липкость грунта на приборе Охотина.

Оборудование: прибор Охотина (рисунок 5), шпатель, дробь, ложка, чашка фарфоровая, весы, пресс рычажной, гири, цилиндр мерный на 25 см³, пипетка, колба с водой.

Лабораторное исследование по определению липкости глинистого грунта ведется по методике ГОСТ [6].



1 – станина; 2 – блок; 3 – трос; 4 – штамп; 5 – цилиндр; 6 – дробь; 7 – шлицы

Рисунок 5 Прибор Охотина

Ход работы:

- 1 Определить влажность воздушно-сухого грунта, отобранного для данного анализа.
- 2 Взять навеску грунта 100 г и поместить в фарфоровую чашку.
- 3 К навеске грунта добавить 25 см³ воды и тщательно перемешать до однородной массы.
- 4 Цилиндр прибора Охотина с помощью шпателя плотно заполнить грунтовой пастой.
- 5 На поверхность пробы грунта установить штамп и придавить его к поверхности усилием на рычажном прессе в течение одной минуты. Выдавленную наружу пасту удалить.
- 6 Цилиндр закрепить в пазах прибора Охотина, к ушку штампа присоединить тягу. Снять стопор с лепестков цилиндра прибора.
- 7 Ложкой постепенно производить загрузку прибора дробью до отрыва штампа от поверхности грунта.
- 8 Дробь взвесить. Вычислить величину удельной липкости по формуле

$$L = \frac{P}{F}, \text{ г/см}^2$$

где P - вес дроби, г; F - площадь штампа, см².

- 9 Пасту из цилиндра прибора перенести обратно в фарфоровую чашку. К пасте добавить 1 см³ воды и тщательно перемешать.
- 10 В цилиндр прибора перенести очередную пробу пасты с новой влажностью, повторить операции н.п. 4 - 9.
- 11 Повторить опыт 5 - 6 раз. Он считается законченным, когда отмечается уменьшение липкости в двух последующих испытаниях.
- 12 Вычислить влажность испытанных проб грунта по формуле:

$$W = \frac{100 - Q + V_B}{Q} \cdot 100$$

где W - влажность пробы, %; Q - вес абсолютно сухой навески, равный

$$Q = \frac{Q_2}{1 + \frac{W_c}{100}}$$

где V_v - суммарный объём воды, добавленной в грунт, см³; W - гигроскопическая влажность грунта, определенная заранее; Q_2 - исходная навеска воздушно-сухого грунта - 100 г.

13. Результаты расчётов и испытаний занести в таблицу 9:

Таблица 9- Обработка результатов испытаний

Характеристика		Номер опыта					
Объём добавленной воды, см ³	в очередном испытании	1	2	3	4	5	6
	суммарный V_v						
Влажность грунта							
Вес дробы P , г							
Площадь штампа F , см ²							
Липкость, г/см ² $L=P/F$							

По липкости (прилипаемости) L глинистые грунты подразделяют согласно таблице 10 [2]:

Таблица 10

Разновидность глинистых грунтов	Липкость (прилипаемость) L , кПа
Неприлипаемые	$L \leq 5$
Слабоприлипаемые	$5 < L \leq 10$
Среднеприлипаемые	$10 < L \leq 25$
Сильноприлипаемые	$L > 25$

Вывод: по данным проведенной работы у предложенного образца характеристика липкости согласно таблице 10 _____.

Литература

а) основная

- 1 ГОСТ 12071-2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. Межгосударственный стандарт. – М., 2015.
- 2 ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. Межгосударственный стандарт. – М., 2013.
- 3 ГОСТ 24143-80. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки. - М.: Госстандарт, 1981.
- 4 ГОСТ 22733-2016. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности (с поправкой). - М.: Госстандарт, 2017.
- 5 ГОСТ 25584-2016. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации.- М.: Госстандарт, 2017.
- 6 ГОСТ 34259-2017. Грунты. Метод лабораторного определения липкости. – М.: Госстандарт, 2017.

б) дополнительная

- 1 РСН 51-84. Инженерные изыскания для строительства. Производство лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов. Госстрой, 1985 (актуализированный 2016).
- 2 СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений. -М.: ГУП ЦНП, 2002.- 48 с.

Ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека Башкирского ГАУ (<http://biblio.bsau.ru>) – собственная
2. Электронная библиотечная система eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru>) – сторонняя
3. Электронно-библиотечная система издательства «ЛАНЬ» (<http://e.lanbook.com/>) –сторонняя
4. Электронная библиотечная система ZNANIUM.COM (<http://znanium.com/>) – сторонняя