**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра автомобильных дорог, мостов и тоннелей

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Учебно-методическое пособие к выполнению лабораторных занятий
по дисциплине «Контроль качества дорожных работ»
для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01
«Строительство», профиль «Автомобильные дороги»
дневной формы обучения

Казань
2016

УДК 625.7/.8
ББК 38.74
М 12

М 12 Контроль качества при возведении земляного полотна: Учебно-методическое пособие к выполнению лабораторных занятий по дисциплине «Контроль качества дорожных работ» для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги» дневной формы обучения / Сост.: Л.Ф. Мавлиев, А.Ю. Фомин. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2016. – 35 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В учебно-методическом пособии изложены методы лабораторного контроля качества при возведении земляного полотна, приведены основные требования в соответствии с нормативной литературой.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги» дневной формы обучения.

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент, зам. директора ИТС КГАСУ
Д.С. Смирнов

УДК 625.7/.8
ББК 38.74
© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2016

© Мавлиев Л.Ф.
Фомин А.Ю., 2016

ВВЕДЕНИЕ

Земляное полотно является одним из основных элементов автомобильной дороги. Конструкцию земляного полотна разрабатывают на основе данных о рельефе местности, почвенно-грунтовых, геологических, гидрологических и климатических условий, руководствуясь при этом типовыми поперечными профилями, нормативными и технологическими документами.

Грунты, используемые при строительстве земляного полотна автомобильных дорог, должны удовлетворять определенным требованиям по физическим свойствам. Основными физическими свойствами грунтов являются: максимальная плотность грунта (при стандартном уплотнении), плотность сухого грунта, плотность минеральных частиц грунта, влажность (при естественном залегании и оптимальная), пористость, высота капиллярного поднятия, коэффициент фильтрации, размываемость, липкость. Для устройства насыпей применяют грунты, состояние которых под действием природных факторов не изменяется или изменяется незначительно, а потому сохраняется прочность и устойчивость земляного полотна.

При возведении земляного полотна контролируют основные физические свойства грунтов и геометрические элементы земляного полотна (Приложение 1).

Основные требования к техническим параметрам, используемым для оценки качества возведения земляного полотна приняты в соответствии с требованиями СП 45.13330.2012 (СНиП 3.02.01-87), СП 78.13330.2012 (СНиП 3.06.03-85).

СОСТАВ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Гранулометрический состав грунтов
2. Пластичность грунтов
3. Параметры стандартного уплотнения грунтов
4. Уплотнение грунта в земляном полотне

1. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГРУНТОВ

Гранулометрический состав грунтов принято характеризовать количеством грунта в %, которое остается после рассева на каждом из стандартных сит. Гранулометрический состав является важнейшей характеристикой грунтов и используется при определении вида грунтов. Он позволяет также оценить физико-механические свойства и решить вопрос о возможности использования грунта в строительстве. Зерна (частицы) грунта, близкие по размерам и свойствам, объединяют при рассеве в группы и называют гранулометрическими фракциями.

В гранулометрическом составе принято выделять четыре основные гранулометрические фракции грунта: гравийная с размерам частиц крупнее 2 мм; песчаная 2 – 0,05 мм; пылеватая 0,05 – 0,005 мм; глинистая – мельче 0,005 мм. При определении гранулометрического состава используют различные методы и применяют их в зависимости от вида и состава грунта (табл. 1).

Таблица 1

Методы определения гранулометрического состава грунтов

<table>
<tr><th colspan="2">Наименование грунта</th><th>Гранулометрическая характеристика</th><th>Метод испытаний</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Песчаные, при выделении зерен песка крупностью:</td><td>фр. от 0,5 до 10 мм</td><td rowspan="2">Гранулометрический (зерновой)</td><td>Ситовый (без промывки водой)</td></tr>
<tr><td>фр. от 0,1 мм до 10</td><td>Ситовый (с промывкой водой)</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Глинистые</td><td>Гранулометрический (зерновой)</td><td>Ареометрический</td></tr>
<tr><td>Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный составы</td><td>Пипеточный</td></tr>
</table>

1.1. Определение гранулометрического состава грунта ситовым методом

Ситовый метод определения гранулометрического состава основан на разделении грунта по фракциям при просеивании его через набор стандартных сит. Ситовый метод используют для определения состава несвязных крупнообломочных и песчаных грунтов. Для относительно рыхлых и чистых грунтов ситовый анализ проводят в сухом состоянии без промывки водой с выделением частиц от 10 до 0,5 мм. При слабой связности и наличии в грунте пылевидной и глинистой фракции ситовый анализ проводят с промывкой водой и с выделением частиц размерами от

10 до 0,1 мм. При подготовке пробы для испытаний грунт берут в воздушно-сухом состоянии, пробу отбирают методом квартования. Для этого насыпают грунт тонким слоем на лист плотной бумаги (фанеры, картона), проводят ножом борозды в перпендикулярных направлениях, разделяют грунт на четыре квадранта. Из каждого противоположного квадранта отбирают грунт, смешивают, а затем берут необходимую для испытания массу:

− для грунтов, не содержащих частиц размером крупнее 2 мм – 100г;

− для грунтов, содержащих до 10% (по массе) частиц размером крупнее 2 мм – 500 г;

− для грунтов, содержащих от 10 до 30% частиц размером крупнее 2 мм – 1000 г;

− для грунтов, содержащих свыше 30% частиц размером крупнее 2 мм – не менее 2000 г.

1.1.1. Определение гранулометрического состава грунта (без промывки водой)

По данному методу испытываются песчаные грунты фракции от 0,5 до 10 мм.

Метод испытания.

От грунта (в воздушно-сухом состоянии), подготовленного для проведения испытаний берут навеску массой около 500 г, взвешивают (m_0) и растирают в ступке пестиком с резиновым наконечником. Собирают в колонку стандартные сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5 мм, размещая их в порядке увеличения размера отверстий. Просеивают пробу грунта через набор сит. Частицы грунта, задержавшиеся на ситах, высыпают, начиная с верхнего сита, в ступку и дополнительно растирают пестиком с резиновым наконечником, после чего вновь просеивают на этих же ситах. Полноту просеивания проверяют встряхиванием каждого сита над листом бумаги. Просев продолжают до тех пор, пока на бумагу перестанут выпадать частицы. Остатки грунта с каждого сита взвешивают (m_i). Если суммарный вес всех частиц грунта более чем на 1% отличается от веса взятой для анализа пробы, то анализ следует повторить. Установленные потери грунта при просеивании разносят пропорционально по всем ситам. Далее рассчитывают частные остаки на ситах в % (a_i), затем – полные остатки на ситах в % (A_i), с погрешностью до 0,1%. Результаты заносятся в таблицу 2.

Частные остатки в % (a_i) вычисляем по формуле:

$$a_i = \frac{m_i}{m_0} \cdot 100 \ , \qquad (1)$$

где: m_i – масса остатка на сите, г;

m_0 – масса общей пробы грунта, г.

Полные остатки на ситах в % (A_i) определяем по формуле:

$$A_i = \sum a_i \quad , \qquad (2)$$

Таблица 2

Результаты испытаний и расчетов

Остатки на ситах	Размер отверстий сит, мм					
	10	5	2	1	0,5	<0,5
Частные, в г, m_i						
Частные, в %, a_i						
Полные, в %, A_i						

Сопоставляя полученные показатели зернового состава грунта с классификацией крупнообломочных и песчаных грунтов, приведенной в ГОСТ 25100-2011 (табл. 3), определяем вид грунта.

Таблица 3

Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов

Виды грунтов	Содержание частиц, % от общей массы сухого грунта
Крупнообломочные	
Грунт глыбовый (при преобладании окатанных камней – валунный)	Масса камней крупнее 200 мм составляет более 50%
Грунт щебенистый (при преобладании окатанных частиц – галечниковый)	Масса частиц крупнее 10 мм составляет более 50%
Грунт дресвяный (при преобладании окатанных частиц – гравийный)	Масса частиц крупнее 2 мм составляет более 50%
Пески	
Песок гравелистый	Масса частиц крупнее 2 мм составляет более 25%
Песок крупный	Масса частиц крупнее 0,5 мм составляет более 50%
Песок средней крупности	Масса частиц крупнее 0,25 мм составляет более 50%
Песок мелкий	Масса частиц крупнее 0,1 мм составляет более 75%
Песок пылеватый	Масса частиц крупнее 0,1 мм составляет менее 75%

1.1.2. Определение гранулометрического состава грунта (с промывкой водой)

По данному методу испытываются песчаные грунты фракции от 0,1 до 10 мм.

Метод испытания.

От грунта (в воздушно-сухом состоянии), подготовленного для проведения испытаний, берут навеску, взвешивают (m_0), высыпают в фарфоровую чашку, смачивают водой и растирают пестиком с резиновым наконечником. Грунт заливают водой, полученную суспензию взбалтывают и дают отстояться 10-15 с. Воду с неосевшими частицами (взвесь) сливают сквозь сито с отверстиями размером 0,1 мм. Взмучивание и сливание производят до полного осветления воды над осадком. Оставшиеся на сите частицы смывают при помощи резиновой груши в фарфоровую чашку. Отстоявшуюся в чашке воду сливают. Промытую пробу грунта высушивают до воздушно-сухого состояния на песчаной бане и взвешивают (m_1). После этого грунт рассеивают на стандартных ситах аналогично методу определения зернового состава грунта без промывки водой. При этом используют сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм. К массе частиц грунта, прошедших при просеивании через сито с размером отверстий 0,1 мм, следует прибавить массу частиц, прошедших через сито 0,1 мм при промывке грунта ($m_м$), которую определяют как остаток от разности общей пробы грунта, взятой для анализа (m_0) и массы высушенной пробы грунта после промывки (m_1).

Сначала определяем массу частиц грунта, прошедших через сито 0,1 мм при промывке в % ($m_{м1}$) грунта по формуле:

$$m_{м1} = m_0 - m_1 \quad , \qquad (3)$$

где: m_0 – масса грунта взятого для анализа, г;

m_1 – массы высушенной пробы грунта после промывки, г.

Затем определяем общую массу частиц размером менее 0,1мм:

$$m_{<0.1} = m_{м1} + m_{м2} \qquad (4)$$

Далее аналогично методу определения зернового состава без промывки водой по формулам (1) и (2) рассчитываем частные остатки в % (a_i) и полные остатки в % (A_i), и все полученные результаты сводим в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты испытаний и расчетов

Остатки	Размер отверстий сит, мм							
	10	5	2	1	0,5	0,25	0,1	<0,1
Частные в г, m_i								
Частные в %, a_i								
Полные в %, A_i								

Сопоставляя полученные результаты зернового состава грунта с классификацией крупнообломочных и песчаных грунтов по ГОСТ 25100-11 определяем вид грунта.

1.2. Определение гранулометрического состава глинистых грунтов (ареометрическим методом)

По данному методу испытываются глинистые грунты.

Определение гранулометрического (зернового) состава глинистых грунтов производят ареометрическим методом путем измерения ареометром плотности суспензии в процессе ее отстаивания. Для определения гранулометрического состава используется специальный грунтовый ареометр. До проведения испытаний проводят его калибровку следующим образом.

Калибровка ареометра

Калибровка ареометра проводится в следующей последовательности:

1. Определяют поправку на нулевое показание ареометра.

Ареометр опускают в мерный цилиндр с дистиллированной водой, имеющей температуру 20°С, и производят отсчет плотности воды. Полученный отсчет принимают за единицу плотности.

Разность между принятой единицей и замеренным отсчетом по ареометру равна поправке, которую вводят в расчет. Поправку прибавляют к каждому отсчету по шкале ареометра, если ареометр при проверке показывает менее 1,000, и вычитают, если ареометр показывает более 1,000.

2. Определяют поправку на высоту мениска.

Поправку на высоту мениска вводят в расчет, если ареометр градуирован на заводе по нижнему краю мениска. Для этого ареометр опускают в цилиндр с дистиллированной водой, имеющей температуру 20°С. Производят отсчеты по нижнему и верхнему краям мениска. Разница между замеренными отсчетами и будет поправка на высоту мениска. Поправку прибавляют к каждому отсчету по шкале ареометра при замерах плотности суспензии. Если ареометр градуирован по верхнему краю мениска, то поправка не требуется.

3. Определяют поправку на диспергатор.

Ареометр опускают в мерный цилиндр с налитой дистиллированной водой в объеме 950 куб.см, имеющей температуру 20°С, и производят отсчет по верхнему краю мениска.

Добавляют в цилиндр диспергирующее вещество. Затем доливают в цилиндр воду до 1 л, смесь взбалтывают, вторично опускают в нее ареометр и производят отсчет по верхнему краю мениска. Разность между вторым и первым отсчетом и есть поправка на диспергатор. Поправку вычитают из каждого отсчета по шкале ареометра при замерах плотности суспензии.

Затем приступают к испытанию глинистого грунта.

Подготовка к испытанию: От подготовленной для испытания пробы грунта берут навеску массой 200 г, просеивают через набор стандартных

сит с размером отверстий 10; 5; 2; 1 мм. Остатки на ситах (m_i) и в поддоне взвешивают. Одновременно с этим отбирают пробы грунта массой не менее 15 г для определения природной влажности (W_e) и истинной плотности. Из грунта, прошедшего сквозь сито с размером отверстий 1 мм, в заранее взвешенную фарфоровую чашку отбирают пробу и взвешивают ее (m_1). Масса пробы должна быть для глин около 20 г, для суглинков - около 30 г, для супесей – около 40 г.

Перед проведением основного испытания необходимо произвести опробование суспензии грунта на коагуляцию. Для приготовления суспензии отбирают пробу грунта весом около 2 г, растирают ее с (4-6 $см^3$) дистиллированной воды в фарфоровой чашке пестиком с резиновым наконечником. Затем доливают в чашку еще (14-16 $см^3$) дистиллированной воды и кипятят полученную суспензию в течение 5-10 мин. Выливают суспензию в пробирку или в мерный цилиндр емкостью (100-150 $см^3$) и доливают туда дистиллированную воду в таком количестве, чтобы объем суспензии был равен около 100 $см^3$ для глин, 70 $см^3$ – для суглинков и 50 $см^3$ – для супесей. Суспензию взбалтывают и оставляют в покое на сутки. Считается, что суспензия за это время скоагулировала, если за это время на дно пробирки (или мерного цилиндра) выпадет рыхлый осадок хлопьевидной структуры, а жидкость над осадком станет прозрачной.

Если при проведении испытания грунта суспензия не коагулирует, то для промывания, смывания осадков и разбавления суспензии должна применяться дистиллированная вода с добавлением на 1 л 0,5 $см^3$ 25%-ного раствора аммиака. Пробу грунта, суспензия которого при опробовании на коагуляцию не коагулирует, переносят в колбу емкостью 750-1000 $см^3$, смывая остаток пробы в чашке струей воды из промывалки. Доливают в колбу воду, чтобы ее общее количество было десятикратным по отношению к весу средней пробы грунта. Грунт, залитый водой, выдерживают одни сутки. После суточной выдержки в колбу следует прибавить 1 $см^3$ 25%-ного раствора аммиака, закрыть колбу пробкой с обратным холодильником или воронкой диаметром (4-5) см и кипятить суспензию в течение 1 ч (кипячение не должно быть бурным). После кипячения необходимо охладить суспензию до комнатной температуры. Суспензию необходимо слить в стеклянный цилиндр емкостью 1 л сквозь сито с размером отверстий 0,1 мм, помещенное в воронку диаметром 14 см. Оставшиеся на внутренней поверхности колбы частицы грунта следует тщательно смыть водой из промывалки.

К средней пробе грунта, суспензия которого при опробовании на коагуляцию коагулирует, добавляют воду, взбалтывают и сливают взвесь в стеклянный цилиндр через сито с размером отверстий 0,1 мм, без предварительного размачивания в течение суток и последующего кипячения. Задержавшиеся на сите частицы и агрегаты грунта необходимо

смыть струей воды в фарфоровую чашку, где их тщательно растереть пестиком с резиновым наконечником или пальцем в тонком резиновом чехле. Слить образовавшуюся в чашке взвесь в цилиндр через сито с размером отверстий 0,1 мм. Растирание осадка в чашке и сливание взвеси сквозь сито в цилиндр следует продолжать до полного осветления воды над частицами, оставшимися на дне чашки. Частицы грунта, задержавшиеся на сите, надлежит добавить к частицам, оставшимся на дне фарфоровой чашки, перенести их в заранее взвешенный фарфоровый тигель или стеклянный стаканчик, выпарить на песчаной бане и высушить в сушильном шкафу до постоянного веса. Высушенные до постоянного веса частицы грунта следует просеять через сита с размером отверстий 0,5; 0,25 и 0,1 мм. Частицы грунта, задержавшиеся на ситах, следует взвесить (m_i). Суспензию в мерном цилиндре необходимо довести до объема 1 л.

При анализе грунта, суспензия которого при опробовании на коагуляцию коагулирует, перед добавлением воды в цилиндр в него добавляют 25 см^3 4%-ного пирофосфорнокислого натрия (из расчета на безводный пирофосфорнокислый натрий ($Na_4P_2O_7$)) или 6,7%-ного пирофосфорнокислого натрия (из расчета на водный пирофосфорнокислый натрий ($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$)).

Метод испытания.

Суспензию взбалтывают мешалкой в течение 1 мин до полного взмучивания осадка со дна цилиндра. По окончании взбалтывания включают секундомер. По табл. 5 определяют время, когда следует произвести первое измерение плотности суспензии ареометром (через 1 минуту). Отсчет времени идет от момента окончания взбалтывания суспензии. За (10-12 сек) до установленного времени замера плотности следует осторожно опустить ареометр в суспензию (рис. 1). В момент измерения ареометр должен свободно плавать, не касаясь стенок цилиндра. Отсчет показания плотности (R) по ареометру следует снять быстро в течение не более (5-7 сек). Аналогично проводятся измерения плотности суспензии через 30 мин, а затем через 3 ч с момента окончания взбалтывания суспензии.

Таблица 5

Диаметр фракций зерен грунта, мм	Время от момента окончания взбалтывания суспензии до момента замера плотности
Менее 0,05	1 мин
>> 0,01	30 мин
>> 0,005	3 ч

Примечание. Для удобства работы с ареометром следует брать упрощенные отсчеты, т. е. в отсчете плотности суспензии на шкале ареометра отбросить единицу и перенести запятую на три знака вправо; в

этом случае тысячные деления будут представлять собой целые числа, а десятитысячные, которые берут на глаз, – десятые.

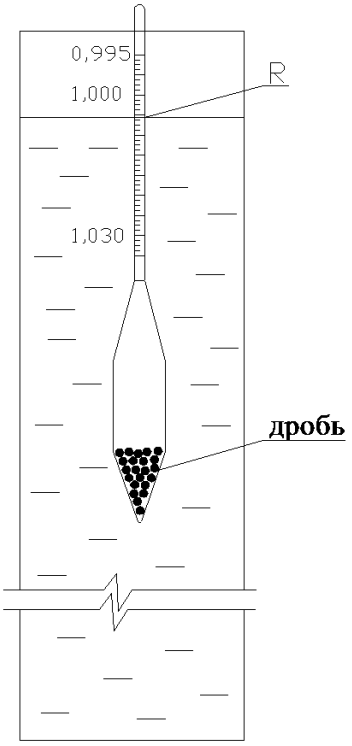

Рис. 1. Ареометр.

Контроль за температурой суспензии необходимо осуществлять замером температуры с погрешностью до 0,5°С в течение первых 5 мин (до начала опыта) и затем после каждого замера плотности суспензии ареометром. При температуре, отличающейся от (+20°С), к отсчетам по ареометру следует вводить температурную поправку, определяемую по табл. 6. В отсчеты плотности суспензии следует также ввести поправки на нулевое показание ареометра, высоту мениска и диспергатор.

Калибровкой, проведенной до испытаний, установлены следующие поправки:

1. Суммарная поправка на высоту мениска и нулевое показание ареометра составляет: в целых числах $\Delta R_{ма} = +2$.

2. Поправка к показаниям ареометра на диспергатор $\Delta R_{ма} = -3$.

Таблица 6

Значение поправки ареометра на температуру при определении гранулометрического состава глинистых грунтов

Температура суспензии, °С Т	Поправки к отсчету по ареометру, $\Delta R_т$	Температура суспензии, °С Т	Поправки к отсчету по ареометру, $\Delta R_т$	Температура суспензии, °С Т	Поправки к отсчету по ареометру, $\Delta R_т$
10,0	-1,2	17,0	-0,5	24,0	+0,8
10,5	-1,2	17,5	-0,4	24,5	+0,9
11,0	-1,2	18,0	-0,3	25,0	+1,0
11,5	-1,1	18,5	-0,3	25,5	+1,1
12,0	-1,1	19,0	-0,2	26,0	+1,3
12,5	-1,0	19,5	- 0,1	26,5	+1,4
13,0	-1,0	20,0	0,0	27,0	+1,5
13,5	-0,9	20,5	+0,1	27,5	+1,6
14,0	-0,9	21,0	+0,2	28,0	+1,8
14,5	-0,8	21,5	+0,3	28,5	+1,9
15,0	-0,8	22,0	+0,4	29,0	+2,1
15,5	-0,7	22,5	+0,5	29,5	+2,2
16,0	-0,6	23,0	+0,6	30,0	+2,3
16,5	-0,6	23,5	+0,7		

Сначала вычисляют частные остатки *(a_i)* грунта на ситах с размером отверстий 1, 2, 5 и 10 мм по формуле (1), при этом массу общей пробы грунта в г, *(m_o)* определяем с поправкой на гигроскопическую или природную влажность:

$$m_o = \frac{m_1}{1 + 0{,}01 W_e}, \qquad (5)$$

где: m_1 – масса общей пробы грунта в воздушно-сухом состоянии (природной влажности), г;

W_e – гигроскопическая (природная) влажность, %.

Затем вычисляем частные остатки в %, *(a_i)* на ситах 0,5; 0,25 мм и 0,1 мм по формуле:

$$a = \frac{m_i}{m_0}(100 - k), \qquad (6)$$

где: m_i – масса данной фракции грунта, высушенной до постоянного веса, г;

m_o – масса пробы грунта, взятой для ареометра с поправкой на гигроскопическую (или природную) влажность, г;

k – суммарное содержание фракции грунта размером более 1,0 мм, %.

Полученные данные заносим в таблицу 7.

Таблица 7

Результаты испытаний и расчетов

Остатки на ситах	Размер отверстий сит, мм							
	1	0,5	0,25	0,1	0,05	0,01	0,005	<0,005
Частные в г, m_i								
Частные в %, a_i								
Полные в %, A_i								

Далее по замерам ареометра (R_i) вычисляем суммарное содержание в грунте в %, (L_c) частиц менее 0,05; менее 0,01 и менее 0,005 мм по формуле:

$$L_c = \frac{\gamma_s R_i}{(\gamma_s - \gamma_W) m_0}(100 - k), \qquad (7)$$

где: L_c – суммарное содержание в грунте всех частиц менее данного диаметра, %;

γ_s – удельный вес грунта, г/см^3;

γ_w – удельный вес воды, равный 1,00 г/см^3;

m_o – вес абсолютно-сухой средней пробы грунта, г;

R_i – показания ареометра с поправками (в целых числах);

k – суммарное содержание в грунте частиц размером более 1,0 мм,%.

В таблице 8 указаны показания ареометра с учетом поправок.

Таблица 8

Показатели	Время измерений по ареометру		
	Через 1 минуту	Через 30 минут	Через 3 часа
Исходное показание ареометра	14	9	6
Суммарная поправка на высоту мениска и на показания ареометра	+2	+2	+2
Поправка на диспергатор	-3	-3	-3
Показание ареометра с учетом поправок	13	8	5

Частные остатки грунта вычисляем последовательными вычитаниями из большей величины меньшей.

Частный остаток на сите размером 0,05 мм определяем вычитанием из 100% суммы всех частных остатков, определенных с помощью ареометра и ситовым анализом.

Однако, чтобы установить вид и разновидность грунта полученных показателей зернового состава недостаточно. Для этого необходимо рассчитать еще несколько показателей: число пластичности грунта и содержание песчаных частиц. Только тогда можно будет сделать окончательное заключение. Далее определяем пластичность испытуемого грунта.

2. ПЛАСТИЧНОСТЬ ГРУНТОВ

В зависимости от степени увлажнения связные глинистые грунты могут находиться в твердом, пластичном и текучем состояниях.

При изменении влажности таких грунтов происходит резкий переход грунта из одного состояния в другое, что вызывает изменение степени устойчивости грунта под нагрузкой. Показатель влажности грунта, соответствующий границам перехода его из одного состояния в другое состояние, характеризует его пластичность.

Пластичностью называется способность грунта деформироваться под действием внешнего давления без разрыва сплошности и сохранять приданную форму после удаления нагрузки.

В пластичном состоянии связный грунт находится в пределах между двумя критическими влажностями: влажностью на границе текучести (верхний предел пластичности) и влажностью на границе раскатывания (нижний предел пластичности).

Граница раскатывания характеризуется влажностью (W_p), при которой грунт из пластичного состояния переходит в твердое.

Граница текучести характеризуется влажностью (W_T), при которой грунт из пластичного состояния переходит в полужидкое – текучее. При этой влажности связь между частицами нарушается из-за наличия в грунте

свободной воды. Грунты в текучем состоянии теряют устойчивость под нагрузкой.

Определив влажность грунта на границе раскатывания и границе текучести, рассчитывают число пластичности.

Число пластичности *(W_n)* определяется интервалом изменения влажности, в пределах которого грунт находится в пластичном состоянии. Число пластичности определяется в целых единицах по формуле:

$$W_n = W_T - W_p, \qquad (8)$$

где: W_T – влажность на границе текучести (верхний предел пластичности), %;

W_p – влажность на границе раскатывания (нижний предел пластичности), %.

2.1. Определение числа пластичности

Определение пластичности включает в себя определение влажности на границе раскатывания и влажности на границе текучести. Рассмотрим методы их определения.

а) Подготовка основной пробы

Подготовленный для испытания грунт просеивают через сито с отверстиями 1 мм и берут навеску массой 300 г. Грунт высыпают в чашку, вводят небольшими порциями дистиллированную воду, постоянно перемешивая до получения пластичного теста. Пластичное тесто не должно рассыпаться, растекаться и пачкать руки. Готовое тесто скатывают в комок, помещают в эксикатор над водой и выдерживают так не менее 2 ч. для равномерного увлажнения.

б) Определение границы раскатывания и влажности на границе раскатывания.

За границу раскатывания (пластичности) принимают такое состояние грунта, при котором раскатанный из него шнур диаметром 3 мм начинает крошиться по всей длине на кусочки длиной 3-10 мм. Влажность грунта на границе раскатывания характеризует нижний предел пластичности.

Метод испытания.

Приготовленное ранее грунтовое тесто в соответствии с п. а тщательно перемешивают, берут из него небольшой комочек и раскатывают пальцами на стеклянной или пластмассовой пластинке до образования из него шнура диаметром 3 мм. Если при этой толщине шнур сохраняет связность и пластичность, его собирают в комочек и снова раскатывают в шнур. Раскатывать следует, слегка нажимая на шнур, длина шнура не должна превышать ширины ладони. Это повторяют до момента, когда шнур при диаметре 3 мм начнет делиться по всей длине поперечными трещинами на кусочки длиной (3-10 мм). Такое состояние грунта принимают за границу раскатывания. Все полученные кусочки собирают в

заранее взвешенный бюкс и определяют влажность следующим образом. Кусочки грунта в количестве не менее 15 г помещают в заранее взвешенные бюксы (m_{0i}), плотно закрывают крышкой и взвешивают (m_{1i}). Бюксы с грунтом ставят с открытой крышкой в сушильный шкаф и высушивают пробы при температуре (105±2)°С до постоянной массы (т.е. до тех пор, пока разница между двумя последующими взвешиваниями будет не более 0,02 г). Первое взвешивание глинистых грунтов производят через 5 ч, а каждое последующее через 2 ч. После высушивания бюксы закрывают крышками и охлаждают в эксикаторе над хлористым кальцием. Охлажденные бюксы с сухим грунтом взвешивают (m_{2i}). По результатм испытаний каждой пробы рассчитывают влажность грунта в % (W_{pi}). При расхождении результатов двух параллельных испытаний влажности более чем на 10 % количество испытаний необходимо увеличить до 3-х и более. В заключение по результатам двух испытаний определяют среднеарифметическое значение показателя влажности грунта на границе раскатывания в % (W_p). При обработке результатов испытаний вычисляют влажность с точностью до 0,1%. Результаты заносятся в таблицу 9.

Таблица 9

Результаты испытаний и расчетов

Показатели	Результаты испытаний	
	№1	№2
Масса пустого бюкса с крышкой в г, m_{0i}		
Масса бюкса с крышкой и влажным грунтом в г, m_{1i}		
Масса бюкса с крышкой и высушенным грунтом в г, m_{2i}		
Влажность на границе раскатывания в %, W_{pi}		

Влажность грунта на границе раскатывания в % (W_p) определяем в % по формуле:

$$W_i = \frac{m_{1i} - m_{2i}}{m_{2i} - m_{0i}} \cdot 100 \quad , \qquad (9)$$

где: m_{0i} – масса пустого бюкса, г;

m_{1i} – масса бюкса с влажным грунтом, г;

m_{2i} – масса бюкса с высушенным грунтом г.

Влажность грунта на границе раскатывания вычисляем как среднеарифметическое результатов параллельных испытаний

в) Определение границы текучести и влажности на границе текучести.

За границу текучести принимают такое состояние грунта, при котором балансирный конус Васильева (рис. 2) погружается под действием собственной массы за 5 сек. на глубину 10 мм. Влажность грунта на границе текучести характеризует верхний предел пластичности.

Метод испытания.

Приготовленное грунтовое тесто (см. п. а). тщательно перемешивают шпателем и укладывают небольшими порциями плотно, то есть без воздушных полостей в цилиндрическую форму прибора (1) (рис. 2). Поверхность грунтового теста заглаживают шпателем вровень с краями формы. Балансирный конус (2), смазанный тонким слоем вазелина, подводят к поверхности грунтового теста так, чтобы его острие касалось поверхности теста. Конус плавно опускают и дают ему свободно погружаться под действием собственного веса. Если балансирный конус за 5 сек. опускается в тесто на 10 мм (до риски), то граница текучести достигнута. Когда глубина погружения конуса менее 10 мм, грунт переносят в фарфоровую чашку, добавляют пипеткой 1-2 капли воды, перемешивают и повторяют испытание. При погружении конуса за 5 сек на глубину более 10 мм грунтовую массу из чашки перекладывают в фарфоровую чашку, слегка подсушивают на воздухе, непрерывно перемешивая шпателем и повторяют операцию с балансирным конусом. По достижении требуемых условий из грунта берут две пробы массой (15-20 г), кладут их в бюксы, высушивают и далее определяют влажность (см. п. б) данного раздела). Результаты заносятся в таблицу 10.

Вид прибора

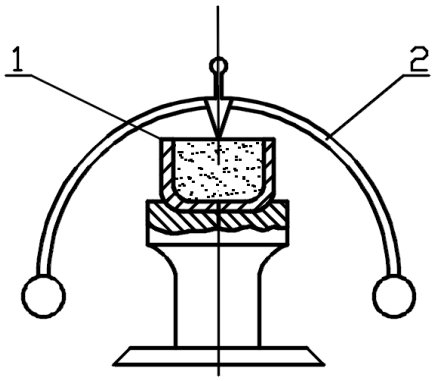

Схема прибора

Рис. 2. Балансирный конус Васильева.

Таблица 10

Результаты испытаний и расчетов

Показатели	№ опыта	
	№1	№2
Масса пустого бюкса с крышкой в г, m_{0i}		
Масса бюкса с крышкой и влажным грунтом в г, m_{1i}		
Масса бюкса с крышкой и высушенным грунтом в г, m_{2i}		
Влажность на границе текучести в %, W_T		

Определяем влажность грунта на границе текучести в % (W_T). Влажность образцов грунта вычисляем как среднеарифметическое результатов параллельных испытаний.

г) Определение числа пластичности грунта

По полученным показателям влажности грунта на границе раскатывания и влажности грунта на границе текучести рассчитываем число пластичности *(W_n)* глинистого грунта:

$$W_n = W_T - W_p \qquad (10)$$

д) Определение разновидности грунта по числу пластичности и содержанию песчаных частиц

Вид и разновидность глинистого грунта определяется по установленному числу пластичности *(W_n)* и содержанию в этом грунте песчаных частиц. Результаты расчетов числа пластичности грунта и содержания песчаных частиц, определенные в соответствии с п. г) данного раздела сводим в таблицу 11.

Таблица 11

Результаты испытаний и расчетов для глинистого грунта

Показатели	Значения
Число пластичности W_n	
Содержание песчаных частиц в %	

В соответствии с принятой классификацией глинистых грунтов по числу пластичности и содержанию песчаных частиц (табл. 12) делаем залючение о виде и разновидности грунта.

Таблица 12

Классификация глинистых грунтов
по числу пластичности и содержанию песчаных частиц

Вид грунтов	Число пластичности Ip,%	Содержание песчаных частиц размером от 2 до 0,05 мм, % по массе	Разновидность грунтов
Супесь	1 ≤ Ip < 7	≥50 <50	Песчанистая Пылеватая
Суглинок	7 ≤ Ip < 12	≥40 <40	Легкий песчанистый Легкий пылеватый
	12 ≤ Ip < 17	≥40 <40	Тяжелый песчанистый Тяжелый пылеватый
Глина	17 ≤ Ip < 27	≥40 <40	Легкая песчанистая Легкая пылеватая
	Ip > 27	Не регламентируется	Тяжелая

Примечания:

1. При наличии в глинистых грунтах частиц крупнее 2 мм к наименованию грунта по табл. прибавляют термин «с галькой» («со щебнем») или с гравием («с дресвой»), если содержание соответствующих частиц составляет 15-25 % по массе, и «галечниковый» («щебенистый»)

или «гравелистый» («дресвянистый»), если этих частиц в грунте 25-50% по массе.

2. При наличии частиц крупнее 2 мм более 50% по массе грунты относятся к крупнообломочным.

3. ПАРАМЕТРЫ СТАНДАРТНОГО УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ

Для предотвращения осадок и обеспечения устойчивости земляного полотна грунт следует тщательно уплотнить при оптимальной влажности до максимальной плотности скелета (твердой части). Грунт в насыпи находится в трехфазном состоянии (грунт + воздух + вода), и уплотнение его происходит за счет перемещения грунтовых частиц, сопровождающееся вытеснением воздуха из пор. При одинаковых затратах усилий на уплотнение грунта его плотность будет зависеть от его влажности. С повышением влажности до определенного предела плотность скелета грунта увеличивается, при дальнейшем увеличении влажности плотность скелета грунта будет уменьшаться. Наибольшая плотность скелета грунта, достигаемая при уплотнении обозначается $\rho_{ск.max}$ (максимальная плотность скелета). Влажность грунта, соответствующая этой максимальной плотности скелета, называется оптимальной влажностью и обозначается W_0.

Для того, чтобы определить оптимальную влажность, сначала необходимо рассчитать естественную влажность грунта, поскольку оптимальную влажность грунта определяют исходя из естественной влажности грунта.

Далее приводится пример с результатами испытаний по определению максимальной плотности и оптимальной влажности грунта, предназначенного для земляного полотна.

3.1. Определение естественной влажности

Суть испытания заключается в определении естественной влажности грунта методом высушивания до постоянной массы.

Метод испытания.

От подготовленного для испытаний грунта берут пробы в количестве не менее 15 г, помещают в заранее взвешенные бюксы (m_{0i}), плотно закрывают крышкой и взвешивают (m_{1i}). Бюксы с грунтом ставят в сушильный шкаф с открытой крышкой и высушивают пробы при температуре (105±2°С) до постоянной массы (сушат до тех пор, пока разница между двумя последующими взвешиваниями будет не более 0,02 г). Первое взвешивание песчаных грунтов производят через 3 ч, а для других видов грунтов через 5 ч. Далее каждое последующее взвешивание

для песчаных грунтов производят через 1 ч, для остальных грунтов через 2 ч. После высушивания бюксы закрывают крышками и охлаждают в эксикаторе, выдерживая над хлористым кальцием. Охлажденные бюксы с сухим грунтом взвешивают (m_{2i}). По результатам испытаний каждой пробы рассчитывают естественную влажность грунта в %, (W_{ei}). При расхождении результатов двух параллельных испытаний более чем на 10% количество испытаний необходимо увеличить до трех и более. В заключение по результатам двух испытаний определяют среднеарифметическое значение показателя естественной влажности в % (W_e). При обработке результатов испытаний вычисление производят при влажности грунта до 30% с точностью до 0,1%. Результаты заносятся в таблицу 13.

Таблица 13

Результаты испытаний и расчетов

Показатели	№ опыта	
	№1	№2
Масса пустого бюкса с крышкой в г, m_{0i}		
Масса бюкса с крышкой и влажным грунтом в г, m_{1i}		
Масса бюкса с крышкой и высушенным грунтом в г, m_{2i}		
Влажность в %, W_{ei}		

Естественную влажность грунта в % (W_{ei}) для каждого испытания определяем по формуле:

$$W_{ei} = \frac{m_{1i} - m_{2i}}{m_{2i} - m_{0i}} \cdot 100, \qquad (11)$$

где: m_{0i} – масса пустого бюкса, г;

m_{1i} – масса бюкса с влажным грунтом, г;

m_{2i} – масса бюкса с высушенным грунтом г.

Затем определяем среднеарифметическое значение влажности грунта.

3.2. Определение максимальной плотности грунта методом стандартного уплотнения

Суть метода стандартного уплотнения основана на установлении зависимости плотности сухого грунта от его влажности при уплотнении образцов грунта с постоянной работой уплотнения при последовательном увеличении влажности грунта. Метод стандартного уплотнения не распространяется на органо-минеральные и органические грунты, а также на грунты, содержащие частицы крупнее 20 мм.

Подготовка к испытанию.

Необходимая для испытания масса образца грунта нарушенного сложения при естественной влажности должна быть не менее 10 кг при наличии в грунте частиц крупнее 10 мм и не менее 6 кг – при отсутствии

частиц крупнее 10 мм. Перед испытанием пробу высушивают при комнатной температуре или в сушильном шкафу до воздушно-сухого состояния. Высушивание допускается проводить для несвязных минеральных грунтов при температуре 100^0С, для связных – не более 60^0С. Скомковавшийся грунт (агрегаты) размельчают. Грунт взвешивают ($m_р$) и просеивают через сита диаметром 20 мм и 10 мм. При этом вся масса грунта должна пройти через сито с отверстиями диаметром 20 мм. (При наличии частиц крупнее 20 мм данный метод не применяется). Отсеянные крупные частицы взвешивают ($m_к$). Если масса частиц грунта крупнее 10 мм составляет 5 % и более, дальнейшее испытание проводят с пробой грунта, прошедшего через сито 10 мм. Если масса частиц крупнее 10 мм составляет менее 5 %, производят дальнейшее просеивание грунта через сито с отверстиями диаметром 5 мм и определяют содержание частиц крупнее 5 мм. В этом случае дальнейшее испытание проводят с пробой грунта, прошедшего через сито 5 мм. Из отсеянных крупных частиц отбирают пробы для определения их влажности (Wк) и средней плотности ($\rho_к$). Из грунта, прошедшего через сито, отбирают пробы, проводят испытания по определению влажности грунта в воздушно-сухом состоянии (We). Затем вычисляют содержание в грунте крупных частиц в % (К).

Далее готовится проба для определения максимальной плотности грунта на приборе стандартного уплотнения. От просеянной массы грунта отбирают пробу в количестве 3,0-3,5 кг и взвешивают ($m_р'$). Влажность грунта для первого испытания берут по табл. 14. Количество воды для доувлажнения отобранной пробы до влажности первого испытания рассчитывают с учетом естественной влажности. Пробу грунта помещают в чашу и добавляют к ней расчетное количество воды. Грунт тщательно перемешивают до равномерного увлажнения и берут от него две пробы не менее чем по 10 г для определения влажности весовым методом. Пробы помещают в бюксы, высушивают до постоянной массы, взвешивают и по полученным результатам рассчитывают влажность грунта. Подготовленный грунт в чашке помещают в эксикатор и выдерживают там в течение 12 ч (если грунт связный), в течение 2 ч (если грунт несвязный). После выдерживания грунта в течение указанного времени начинают испытание.

Содержание в грунте крупных частиц в % *(К),* вычисляем по формуле:

$$K = \frac{m_k(1+001w_g)}{m_p(1+001w_k)} \cdot 100, \qquad (12)$$

где: m_k – масса отсеянных крупных частиц, г;

w_g – влажность просеянного грунта в воздушно-сухом состоянии, %;

m_p – масса образца грунта в воздушно-сухом состоянии, г;

w_k – влажность отсеянных крупных частиц, %.

Количество воды для доувлажнения отобранной пробы до влажности первого испытания в мл *(Q)*, рассчитываем по формуле:

$$Q = m_p' \cdot 0{,}01\ (w_1 - w_g) / (1 + 0{,}01 \cdot w_g)\ , \qquad (13)$$

где: m_p' – масса отобранной пробы, г;

w_1 – влажность грунта для первого испытания, % (принимается по таблице 16);

w_g – влажность просеянного грунта в воздушно-сухом состоянии, %.

Для первого испытания влажность грунта назначается по таблице 14 в соответствии с ГОСТ 22733-2002.

Таблица 14

Влажность грунта для первого испытания

Грунты	Влажность грунта для первого испытания, в %, w_1
Песок гравелистый, крупный и средней крупности	4
Песок мелкий и пылеватый	6
Супесь, суглинок легкий	6-8
Суглинок тяжелый, глина	10-12

Метод испытания.

Испытание проводят на приборе Союздорнии для стандартного уплотнения грунтов (рис. 3). Сначала определяют массу цилиндрической части формы без грунта (m_1'). Затем цилиндр заполняют грунтом на $^1/_3$ объема, сверху устанавливают уплотнитель и уплотняют грунт 40 ударами по наковальне при падении груза с высоты 30 см по направляющей штанге. Таким же образом загружают и уплотняют второй и третий слой грунта. Перед загрузкой каждого слоя грунта поверхность предыдущего уплотненного слоя разрыхляют ножом на глубину (1-2 мм). Перед укладкой третьего слоя устанавливают насадку. После уплотнения снимают насадку и срезают выступающую часть грунта ножом вровень с краями цилиндра. Если выступающая часть грунта превышает 10 мм, необходимо выполнить дополнительное уплотнение ударами груза (число ударов принимается из расчета 1 удар на 2 мм высоты выступающего грунта). Цилиндр с уплотненным грунтом взвешивают (m_2') с точностью до 1 г и рассчитывают плотность влажного грунта. Образец грунта извлекают из цилиндрической части формы и переносят обратно в чашку. Из верхней, средней и нижней частей образца отбирают пробы для определения влажности грунта (W_i). Затем грунт размельчают, добавляют (1-2 %) воды от первоначальной массы грунта и тщательно перемешивают. Второе и последующие испытания проводят аналогично первому, отбирая пробу не менее 10 г для определения весовой влажности. Каждый раз в грунт добавляют по (1-2 %) воды от первоначальной массы грунта.

Исходные данные заносятся в таблицу 15. Испытание можно считать законченным, когда с повышением влажности пробы при последующих двух испытаниях происходит последовательное уменьшение значений массы и плотности уплотняемого образца грунта, а также когда при ударах происходит отжатие воды или выделение разжиженного грунта через соединения формы. Для каждого значения плотности влажного грунта (ρ_i) и влажности (W_i) вычисляют плотность скелета грунта (ρ_{di}). Далее строят график зависимости изменения значений плотности сухого грунта от влажности (рис. 4). По наивысшей точке на графике находят значение максимальной плотности скелета грунта (ρ_{max}) и соответствующее ему значение оптимальной влажности ($W_{опт}$).

Вид прибора

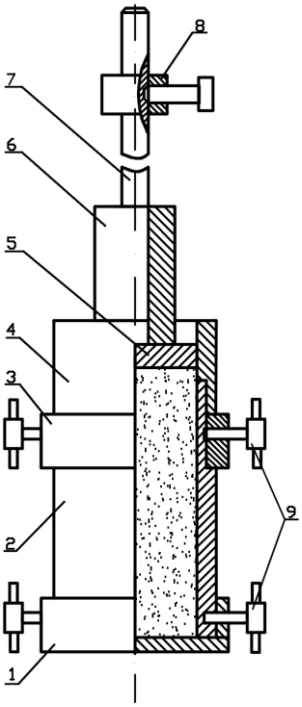

Схема прибора

Рис. 3. Прибор Союздорнии для стандартного уплотнения грунтов.

Таблица 15

Исходные данные для испытания

Наименование параметра	Значение
Тип грунта	
Масса пробы грунта, в г, m_p	
Число ударов при уплотнении	
Принятая влажность в начале опыта, в %, w_1	
Влажность воздушно-сухого грунта, в %, w_g	
Количество добавляемой воды, в мл, Q	

С учетом естественной влажности грунта определяем необходимое количество воды для первого испытания:

$$Q = m_p' \cdot 0{,}01\ (w_1 - w_g) / (1 + 0{,}01 \cdot w_g) \qquad (14)$$

В подготовленную и взвешеную пробу грунта добавляем расчетное количество воды *(Q)*. После выдерживания пробы в течение 2-х часов в эксикаторе проводим уплотнение грунта на стандартном приборе Союздорнии в соответствии с изложенной методикой и проводим расчеты. Результаты заносятся в таблицу 16.

Таблица 16

Результаты испытаний и расчетов

№ испытания	Определение плотности				Определение влажности						Плотность сухого грунта, в г/см^3, ρ_{di}
	масса, в г			плотность грунта, в г/см^3, ρ_i	№ стаканчика	масса, в г			влажность, в %		
	формы, m_1'	формы с уплотненным	уплотненного грунта, $m_2' - m_1'$			пустого стаканчика, m_{0i}	стаканчика с влажным грунтом, m_{1i}	стаканчика с сухим грунтом, m_{2i}	Абсолютная, $W_{i№}$	Средняя, W_{cpi}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1											
2											
3											
4											
5											
6											

Сначала вычисляем плотность влажного грунта в г/см^3 (ρ_i) по формуле:

$$\rho_i = (m_{2i}' - m_1')/V, \qquad (15)$$

где: m_1' – масса цилиндрической части формы без грунта, г;

m_{2i}' – масса цилиндрической части формы с уплотненным грунтом, г;

V – вместимость формы, 1000 см^3.

Затем определяем влажность грунта.

Рассчитываем среднеарифметическое значение влажности.

При обработке результатов испытаний вычисление производят при влажности грунта до 30% с точностью до 0,1%.

Затем определяем плотность скелета грунта в г/см ^{3} (ρ_{di}) по формуле:

$$\rho_{di}=\rho_i / (1+0{,}01\ w_i), \qquad (16)$$

где: ρ_i – плотность грунта, г/см^3;

w_i – влажность грунта при очередном испытании, %.

Аналогичные расчеты проводим для всех последующих испытаний. Далее строим график зависимости изменения значений плотности скелета песчаного грунта от влажности (рис. 4).

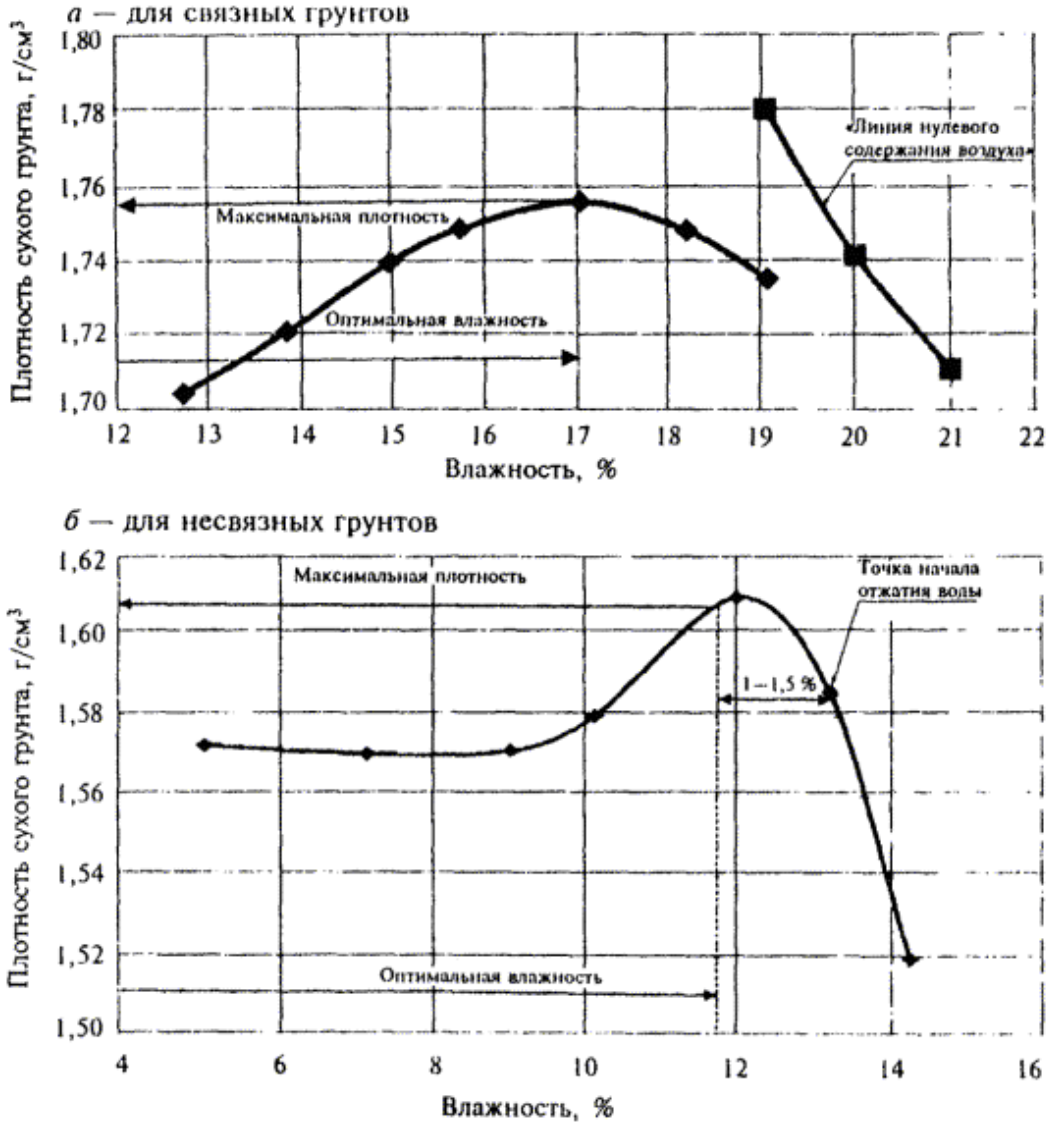

Рис. 4. График зависимости плотности грунта от влажности.

Примечание: Для несвязных грунтов график стандартного уплотнения может не иметь заметно выраженного максимума. В этом случае в соответствии с ГОСТ 22733-2002 значение оптимальной влажности принимаем на 1,0-1,5 % менее влажности, при которой происходит отжатие воды. При этом на 1 % меньше принимаем для песков гравелистых, крупных и средней крупности; на 1,5 % меньше для мелких и пылеватых песков.

Если в грунте содержались крупные частицы, которые перед испытанием были удалены из пробы, то для учета их влияния в составе грунта корректируют значение максимальной плотности сухого грунта ρ'_{dmax} по формуле:

$$\rho'_{d\,max} = \rho_{d\,max} \cdot \rho_к / (\rho_к - 0{,}01\,K\,(\rho_к - \rho_{d\,max})), \qquad (17)$$

где: $\rho_к$ – плотность крупных частиц, г/см^3;

K – содержание крупных частиц в грунте, % ;

$\rho_{d\,max}$ – максимальная плотность для сухого грунта (без содержания крупных частиц), г/см^3.

Значение оптимальной влажности определяют по формуле:

$$w_{opt} = 0{,}01\,w_{opt}\,(100 - K), \qquad (18)$$

где: w_{opt} – значение оптимальной влажности грунта.

4. УПЛОТНЕНИЕ ГРУНТА В ЗЕМЛЯНОМ ПОЛОТНЕ

Степень уплотнения грунта при контроле качества уплотнения земляного полотна контролируют в соответствии с требованиями СП 34.13330.12 (СНиП 2.05.02-85*) (табл. 17).

Таблица 17

Требования к коэффициенту уплотнения грунтов земляного полотна

Элементы земляного полотна	Глубина расположения слоя от поверхности покрытия, м	Наименьшее значение коэффициента уплотнения грунта при типе дорожных одежд, K_y					
		капитальном			облегченном и переходном		
		в дорожно-климатических зонах					
		I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V
Рабочий слой	До 1,5	0,98 - 0,96	1,0-0,98	0,98-0,95	0,95-0,93	0,98-0,95	0,95
Неподтопляемая часть насыпи	Св. 1,5 до 6	0,95 - 0,93	0,95	0,95	0,93	0,95	0,90
	Св. 6	0,95	0,98	0,95	0,93	0,95	0,90
Подтопляемая часть насыпи	Св. 1,5 до 6	0,96 - 0,95	0,98-0,95	0,95	0,95-0,93	0,95	0,95
	Св. 6	0,96	0,98	0,98	0,95	0,95	0,95
В рабочем слое выемки ниже зоны сезонного промерзания	До 1,2	-	0,95	-	-	0,95-0,92	-
	" 0,8	-	-	0,95-0,92	-	-	0,90

Примечания: 1. Верхний предел значений коэффициента уплотнения грунта следует принимать при цементобетонных покрытиях и цементогрунтовых основаниях, а также для дорожных одежд облегченного типа; нижний предел значений - во всех остальных случаях.

2. В районах поливных земель при возможности увлажнения земляного полотна требования к плотности грунта для всех типов дорожных одежд следует принимать такими же, как указано в графах для II и III дорожно-климатических зон.

3. Для земляного полотна, сооружаемого в районах распространения островной высокотемпературной вечной мерзлоты, коэффициенты уплотнения следует принимать такими же, как для II дорожно-климатической зоны.

4.1. Определение коэффициента уплотнения грунта методом режущего кольца

Для отбора проб грунта используют специальные стандартные режущие кольца с пробоотборником.

Суть метода заключается в определении плотности и влажности грунта, отобранного из земляного полотна при помощи стандартных режущих колец. Размеры колец для отбора проб грунта выбирают в зависимости от вида и состояния грунта в соответствии с таблицей 18.

Таблица 18

Параметры стандартных режущих колец для отбора проб грунта

Наименование и состояние грунтов	Размеры кольца-пробоотборника			
	Толщина стенки, мм	Диаметр внутренний, d, мм	Высота h	Угол заточки наружного режущего края
Немерзлые пылевато-глинистые грунты	1,5 – 2,0	≥50	0,8d ≥ h > 0,3d	Не более 30 град.
Немерзлые и сыпучемерзлые песчаные грунты	2,0 – 4,0	≥70	d ≥ h > 0,3d	То же
Мерзлые пылевато-глинистые грунты	3,0 – 4,0	≥80	h = d	45 град.

Метод испытания.

Режущее кольцо предварительно взвешивают ($m_{к0i}$), определяют его высоту (h_i) и диаметр (d_i). Лопатой снимают верхний слой уплотненного грунта толщиной (4-5 см). Поверхность грунта выравнивают ножом и ставят на нее кольцо с пробоотборником (рис. 5). Ударником (1) погружают режущее кольцо (2) в грунт до тех пор, пока грунтоотборник не будет заполнен выше края кольца на 3-5 мм от верхней части кольца. Кольцо осторожно извлекают, срезают излишки грунта вровень с краями кольца, сверху и снизу покрывают его (во избежание потери влаги) стеклами с известной массой (m_{ci}). Стекла с кольцом и грунтом

взвешивают на весах с точностью до 1 г ($m_{кi}$). Рассчитывают объем режущего кольца (V_i) и плотность влажного грунта (ρ_i). Из середины образца берут пробу грунта массой (15-50 г) для определения влажности. Пробы грунта помещают в заранее взвешенный бюкс (m_{0i}), плотно закрывают крышкой и взвешивают (m_{1i}). Бюксы с открытой крышкой ставят в сушильный шкаф и высушивают пробы при температуре (105±2°С) до постоянной массы. После высушивания бюксы закрывают крышкой и охлаждают в эксикаторе над хлористым кальцием. На основе полученных данных рассчитывают влажность грунта (W_i), затем плотность скелета грунта в насыпи ($\rho_{ск.н}$) и коэффициент уплотнения грунта ($К_{уi}$).

Проводим испытание в соответствии с изложенной методикой, результаты заносим в таблицу 19, и затем делаем расчеты.

Вид прибора

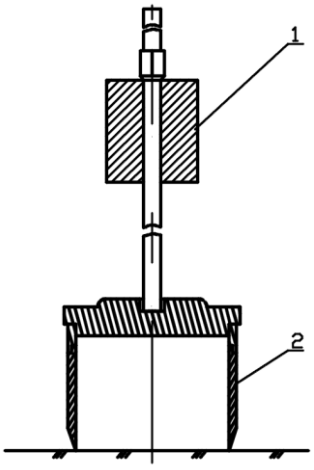

Схема прибора

Рис. 5. Режущее кольцо с ударником
1 – ударник, 2 – режущее кольцо.

Таблица 19

Результаты испытаний и расчетов

Показатели	№ опыта	
	№1	№2
Диаметр кольца в см, d_i		
Высота кольца в см, h_i		
Объем кольца в см^3 , V_i		
Масса пустого кольца в г, $m_{к0i}$		
Масса покрывающих стекол в г, m_{ci}		
Масса влажного грунта с кольцом и покрывающими его стеклами в г, $m_{кi}$		
Плотность грунта в г/см^3, ρ_i		
Масса пустого бюкса с крышкой в г, m_{0i}		
Масса бюкса с крышкой и влажным грунтом в г, m_{1i}		

Масса бюкса с крышкой и высушенным грунтом в г, m_{2i}		
Влажность грунта в %, W_i		
Плотность скелета грунта в г/см^3, $\rho_{ск.\,нi}$		
Коэффициент уплотнения, K_{yi}		

Расчет коэффициента уплотнения грунта проводим в следующей последовательности.

Сначала определяем объем режущих колец (т. е. объем отбираемого грунта) по формуле:

$$V_i = \frac{\pi d_i^{\,2}}{4} h_i \ , \qquad (19)$$

где: d – внутренний диаметр кольца, см;

h – высота режущего кольца, см.

Затем вычисляем плотность влажного грунта по формуле:

$$\rho_i = \frac{m_{ki} - m_{ci} - m_{k0i}}{V_i} \ , \qquad (20)$$

где: $m_{к0i}$ – масса пустого кольца, г;

m_{ci} – масса стекол, г;

$m_{кi}$ – масса влажного грунта с кольцом и покрывающими его стеклами, г;

V_i – объем грунта в кольце, см^3.

Далее определяем влажность грунта.

При обработке результатов испытаний вычисление производят при влажности грунта до 30% с точностью до 0,1%.

Затем определяем плотность скелета грунта:

Коэффициент уплотнения грунта (K_y) вычисляем по формуле:

$$K_y = \frac{\rho_{ск.н}}{\rho_{ск.\max}} \ , \qquad (21)$$

где: $\rho_{ск.\,н}$ – фактическая плотность скелета грунта в насыпи, г/см^3;

$\rho_{ск.\,max}$ – максимальная плотность скелета грунта (получаемая при стандартном уплотнении на приборе Союздорнии), г/см^3.

Определяем среднеарифметическое значение коэффициента уплотнения насыпи *(K_y)*.

В соответствии с требуемым коэффициентом уплотнения делаем заключение о качестве уплотнения грунта.

4.2. Определение плотности крупноскелетных грунтов методом замещения объема

В некоторых случаях при строительстве земляного полотна или дополнительных слоев оснований дорожной одежды используются крупнообломочные материалы или грунты с включениями крупных

фракций. При контроле качества уплотнения таких материалов воспользоваться стандартным методом режущего кольца и др. не представляется возможным. В таких случаях для оценки качества уплотнения используют способ замещения объема вынутого из лунки крупноскелетного материала сухим мелким одномерным песком или водой, наливаемой в тонкий резиновый мешок-оболочку (способ «лунки»).

Метод испытания.

На поверхности испытываемого слоя разравнивают площадку, выкапывают совком лунку диаметром около 20 см и глубиной (10-15 см). Грунт из лунки собирают и взвешивают (m_i). Над лункой устанавливают двойную жестяную воронку с диаметром основания 25 см (рис. 6). В лунку и нижнюю воронку через верхнюю малую воронку насыпают сухой песок, заранее просеянный через сито с отверстиями 2 мм и не содержащий пылевидных и глинистых частиц. Объем засыпаемого песка измеряют мерным стеклянным цилиндром вместимостью (0,1-1,0 л) с точностью до 5 см^3. Песок в мерный цилиндр насыпают через обычную воронку без встряхивания. Объем извлеченного грунта, который равен объему лунки ($V_{лi}$) определяют расчетом. Далее определяют плотность влажного грунта, отобранного из слоя дорожной одежды. Затем определяют его влажность. Для этого из грунта, отобранного из контролируемого слоя, берут две пробы массой по (10-15 г) и испытывают их в соответствии с изложеной ранее методикой. В результате рассчитывают влажность грунта. На основе полученных данных рассчитывают фактическую плотность скелета грунта ($\rho_{ск.i}$) в контролируемом слое дорожной одежды. Результаты заносятся в таблицу 20.

Вид прибора

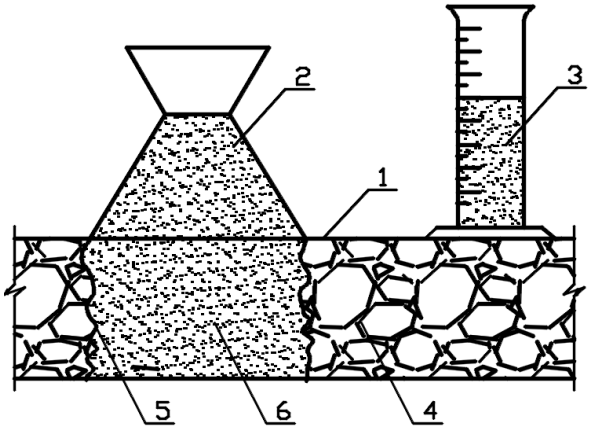

Схема прибора

Рис. 6. Двойная воронка

1 – поверхность испытуемого материала, 2 – двойная воронка, 3 – мерный цилиндр с песком, 4 – материал слоя, 5 – стенки лунки, 6 – сухой мелкий однородный песок.

Таблица 20

Результаты испытаний и расчетов

Показатели	№ испытания	
	№1	№2
Масса грунта в г, m_i		
Объем засыпанного песка в см^3 , V_i		
Объем воронки в см^3 , $V_{вi}$		
Объем лунки в см^3 , $V_{лi}$		
Плотность грунта в г/см^3, ρ_i		
Масса пустого бюкса с крышкой в г, m_{0i}		
Масса бюкса с крышкой и влажным грунтом в г, m_{1i}		
Масса бюкса с крышкой и высушенным грунтом в г, m_{2i}		
Влажность грунта в %, W_i		
Плотность скелета грунта в г/см^3, $\rho_{ск.\,i}$		

Расчет плотности крупнообломочного грунта проводим в следующей последовательности.

Сначала определяем объем песка, засыпаного в лунку (т.е. объем лунки) в см^3 ($V_{лi}$) по формуле:

$$V_{лi} = V_i - V_в, \tag{22}$$

где: V_i – объем засыпанного песка, см^3;

$V_в$ – объем воронки, см^3.

Затем вычисляем плотность влажного грунта по формуле:

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_{лi}}, \tag{23}$$

где: m_i – масса извлеченного грунта, г;

Далее определяем естественную влажность грунта.

Затем определяем плотность скелета грунта.

Плотность крупнообломочного грунта вычисляем как среднеарифметическое результатов параллельных испытаний.

Полученное значение плотности скелета крупнообломочного грунта сравниваем с требуемым значением плотности, указанном в проекте, или со значением плотности, установленным пробными испытаниями при контрольной укатке слоя из крупнообломочного грунта, и делаем заключение.

Приложение 1

Основные параметры и технические требования при проведении контроля качества возведения земляного полотна

Конструктивный элемент, вид работ, контролируемый параметр	Допустимое отклонение, нормативный документ	Метод контроля	Количество измерений при контроле	
			операционном	приемочном
1	2	3	4	5
Размещение оси в плане	±20 см СП 45.13330.2012	Геодезический	На прямой через 100 м, на кривой через 50м	На прямой через 500 м, на кривой через 250м
Высотные отметки	±1 см; не более 10% измерений до ±2 см СП 78.13330.2012	Геодезический. В трех точках по оси и бровкам	На прямой через 100 м, на кривой через 50м	На прямой через 500 м, на кривой через 250м
Толщина снятия растительного слоя грунта и толщина отсыпки слоя насыпи	±20 %, не более 10% измерений до 40% СП 78.13330.2012	Линейкой при срезке и отсыпке	Три точки на поперечнике через 100 м	Три точки на поперечнике через 500 м
Коэффициент уплотнения грунта в основании, каждом слое насыпи и на обочинах	Не ниже проектной, не более 10% измерений до – 0,04 СП 78.13330.2012	Лабораторный. ГОСТ5180-84. На глубине не менее 8 см от поверхности, на расстоянии 1,5-2,0 м от бровки	Три точки на поперечнике через 200 м при высоте насыпи до 3 м. Через 50 м при высоте насыпи более 3 м в верхнем слое.	Три точки на поперечнике через 1000 м при высоте насыпи до 3 м. Через 250 м при высоте насыпи более 3 м в верхнем слое.
Расстояние между осью и бровкой насыпи	±10 см, не более 10% измерений до ±20 см СП 78.13330.2012	Рулеткой	Через 100 м	Через 500 м
Поперечный уклон поверхности земляного полотна и обочин	±0,005, не более 10% измерений от -0,010 до +0,015 СП 78.13330.2012	Рейкой с уровнем. Отсутствие застоя воды	Через 100 м	Через 500 м
Крутизна откосов насыпей и выемок	До -10%, не более 10% измерений до -20%. СП 78.13330.2012	Геодезический или рейкой с уровнем	Через 100 м	Через 500 м

1	2	3	4	5
Влажность грунта в основании насыпи, отсыпаемого в слое насыпи и на обочинах	В зависимости от вида грунта и требуемого коэффициента уплотнения	Лабораторный. ГОСТ 5180-84 или с использованием полевых экспресс-методов и приборов.	Один раз в смену в месте его разработки	-
Однородность грунта, отсыпаемого в слое насыпи и на обочинах	По согласованию с проектной организацией СП 78.13330.2012	Визуально. При изменении однородности определять тип, вид и разновидность по ГОСТ 25100-11.	Постоянно	-

Список использованных источников

1. СП 45.13330.2012. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87.
2. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85.
3. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*.
4. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
5. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
6. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.
7. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Учебно-методическое пособие к выполнению лабораторных занятий
по дисциплине «Контроль качества дорожных работ»
для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01
«Строительство», профиль «Автомобильные дороги»
дневной формы обучения

Составители: Мавлиев Л.Ф., Фомин А.Ю.

Редактор Л.З. Ханафиева

Издательство
Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать		Формат60x84/16
Заказ №	Печать ризографическая	Усл.-печ. л.
Тираж	Бумага офсетная	Уч.-изд. л.

Отпечатано в полиграфическом секторе
Издательства КГАСУ
420043, г. Казань, ул. Зеленая, д.1