ГОССТРОЙ РСФСР
Росглавниистройпроект
Производственное объединение
"СТРОЙИЗЫСКАНИЯ"

РУКОВОДСТВО

ПО ЛАБОРАТОРНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

ВНМД 26-76
Стройизыскания

МОСКВА • 1976

gost.e-ecolog.ru

ГОССТРОЙ РСФСР
Росглавниистройпроект
Производственное объединение
"СТРОЙИЗЫСКАНИЯ"

РУКОВОДСТВО

ПО ЛАБОРАТОРНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

ВНМД 26-76
Стройизыскания

Утверждены
Производственным объединением "Стройизыскания"
31 августа 1976 г.

МОСКВА • 1976

Настоящее Руководство предназначено для инженерно-технических работников трестов инженерно-строительных изысканий производственного объединения "Стройизыскания" Госстроя РСФСР, проводящих исследования инженерно-геологических свойств грунтов оснований сооружений при инженерных изысканиях для строительства в соответствии со СНиП П-15-74.

Применение Руководства должно способствовать унификации исследований и повышению качества инженерных изысканий.

С введением в действие настоящего Руководства утрачивают силу "Временные методические указания по лабораторным исследованиям физико-механических свойств грунтов при производстве инженерно-строительных изысканий". М.ЦТИСИЗ, 1966.

Руководство подготовлено объединением "Стройизыскания" при участии ЛенТИСИЗа.

Авторы разделов 1, 2, 3 - Г.В. Шалимова, разделов 2 (п.п. 2.6-2.24), 4, 5, 6 - Т.А. Кудинова, раздела 6(п.п.6.71-6.98) - М.А. Солодухин.

Центральный трест инженерно-строительных изысканий

Отдел подсобных производств

Л-121060 подписано в печать 7.09.1976г.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящее Руководство составлено на основе действующих союзных нормативно-методических документов по инженерным изысканиям, а также на основе изучения и обобщения опыта лабораторных исследований грунтов оснований сооружений, накопленного ведущими научно-исследовательскими, проектными и изыскательскими организациями страны.

1.2. При инженерных изысканиях для строительства должны быть получены достоверные данные о составе, состоянии и свойствах грунтов оснований сооружений, которые позволили бы осуществлять проектирование надежных фундаментов.

1.3. Руководство содержит требования к лабораторным методам определения физико-механических свойств дисперсных грунтов, а также требования к приборам и оборудованию лабораторий.

1.4. В Руководстве приводятся указания по обработке результатов анализов, вспомогательные таблицы, правила ведения лабораторной документации, схемы проведения испытаний.

1.5. При лабораторных исследованиях физико-механических свойств грунтов для инженерно-геологических изысканий руководствуются положениями, изложенными в табл. 1.

1.6. Наименования физико-механических показателей грунтов принимаются по СНИП П-15-74 (таблица 2)

1.7. Лабораторные исследования выполняются в соответствии с заданием на лабораторные работы, составленным по форме (приложение 1) в двух экземплярах и подписанным главным специалистом-геологом.

1.8. В заданиях на лабораторные работы указываются схемы и методы проведения исследований грунтов, конкретные или предполагаемые величины нагрузок на фундаменты, величины плотности и влажности для грунтов с нарушенным сложением, а также сроки и порядок представления результатов исследования по объекту.

1.9. Все виды грунтов, предназначенные для определения состава, состояния и свойств грунтов, служащих основанием зданий и сооружений, отбираются, упаковываются, транспортируются и хранятся в соответствии с требованиями ГОСТ 12071-72.

1.10. Основным требованием при отборе монолитов, их транспортировании и хранении является сохранение состава грунтов, структуры, влажности и трещиноватости, а для крупнообломочных - свойств заполнителя.

1.11. При наличии полевой лаборатории, расположенной вблизи объекта изысканий, к грунтам, подлежащим лабораторным исследованиям, предъявляются требования, изложенные в пунктах 1,8 и 1,9.

Таблица 1

Лабораторные исследования физико-механических свойств грунтов при инженерно-геологических изысканиях для строительства

Показатели свойств и состава грунтов	Правила определения, метод	Область применения
1	2	3
Цвет, структура, текстура, характер включений и т.п.	Макроскопическое изучение	Визуальная классификация грунтов
Минералогический состав	Иммерсионный метод, метод окрашивания	Классификация глинистых грунтов по минералогическому составу
Гранулометрический состав	В соответствии с ГОСТ 12536-67 "Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) состава". Метод пипетки. Комбинированный метод	Классификация грунтов по номенклатуре. Приближенное вычисление коэффициентов фильтрации. Подбор оптимальных смесей грунта и материалов. Определение механической суффозии, пригодности грунта в качестве добавок, однородности грунта
Плотность минеральной части горной породы	В соответствии с ГОСТ 5181-64. "Грунты. Метод лабораторного определения удельного веса". Метод Гипроводхоза для грунтов с содержанием легкорастворимых солей	Вычисление пористости, коэффициента пористости, степени влажности, полной влагоемкости

Продолжение табл. 1

1	2	3
Влажность	В соответствии с ГОСТ 5180-75. "Грунты. Метод лабораторного определения влажности"	Вычисление показателей консистенции, плотности горной породы, скелета плотности горной породы
Гигроскопическая влажность	В соответствии с ГОСТ 5180-75. "Грунты. Метод лабораторного определения влажности"	Вычисление процентного содержания гранулометрических фракций при гранулометрическом анализе
Плотность горной породы	В соответствии с ГОСТ 5182-64. "Грунты. Метод лабораторного определения объемного веса"	Определение давления на грунт, плотности грунта, вычисление коэффициента пористости
Пористость, коэффициент пористости	Расчетный метод	Определение нормативного давления на грунт
Пределы пластичности	В соответствии с ГОСТ 5183-64. "Грунты. Метод лабораторного определения границы раскатывания". ГОСТ 5184-64. "Грунты. Метод лабораторного определения границы текучести"	Классификация грунтов. Вычисление показателя консистенции
Оптимальная влажность и оптимальная плотность грунтов	Стандартный метод СоюздорНИИ	Проектирование земляного полотна, контроль при производстве земляных работ

Продолжение табл. 1.

1	2	3
Относительное набухание	В соответствии с "Рекомендациями по лабораторным методам определения характеристик набухания грунтов". (НИИОСП, 1974 г.)	Классификация грунтов по набухаемости
Размокание, усадка	Метод Знаменского	Литологическая характеристика грунтов
Полная влагоемкость	Лабораторный метод, расчетом	Характеристика водоудержания грунтов
Максимальная молекулярная влагоемкость	Метод влагоемких сред	Характеристика водоотдачи грунтов
Водопроницаемость	Определение водопроницаемости в трубке "Спецгео", в компрессионно-фильтрационном приборе	Определние скорости фильтрации в грунтах
Сжимаемость (модуль деформации, коэффициент сжимаемости, модуль осадки), Давление набухания	Испытания на компрессионных приборах типа "Одометр". Испытания на приборах трехосного сжатия. Испытания на приборах одноосного сжатия	Определение упругих свойств грунтов и деформируемости основания сооружения. Расчет осадки основания сооружения

Продолжение табл. 1

1	2	3
Относительная просадочность, Начальное давление просадки	В соответствии с "Инструкцией по определению деформационных и прочностных характеристик грунтов в лабораторных условиях" НИИОСП	Определение просадочности грунтов. Расчет величины просадки грунта
Сопротивление грунтов сдвигающим усилиям	В соответствии с ГОСТ 12248-66."Грунты. Метод лабораторного определения сопротивления срезу песчаных и глинистых грунтов на срезных приборах в условиях завершенной консолидации", ведомственными нормативными документами. Пенетрационные испытания в лабораторных условиях	Определение устойчивости основания. Расчет устойчивости бортов откосов. Расчет давления на подпорную стену
Содержание растительных остатков в грунте	Метод отмыва растительных остатков	Классификация грунта
Содержание органических веществ	Метод прокаливания при t + 440°С в муфельной печи	Классификация грунтов
Карбонатность грунта	Кальциметрический метод	Прогноз изменения инженерно-строительных свойств грунтов
Коррозионные свойства грунтов	Метод потери веса трубки	Проектирование защиты подземных сооружений от коррозии

Таблица 2

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРУНТОВ В СООТВЕТСТВИИ СО СНИП П-15-74

№ п/п	ВЕЛИЧИНА		ЕДИНИЦА		
	Наименование	Обозначение	Наименование	обозначение	
				русское	международное
1	2	3	4	5	6
1	Плотность минеральной части горной породы	$\rho_м$	Грамм на сантиметр кубический	г/см^3	$g/см^3$
2	Плотность горной породы	ρ	То же	г/см^3	$g/см^3$
3	Плотность скелета горной породы	$\rho_{ск}$	"	г/см^3	$g/см^3$
4	Природная влажность	W	Доли единицы	-	-
5	Граница раскатывания	W_p	То же	-	-
6	Граница текучести	W_L	"	-	-
7	Число пластичности	I_p	"	-	-
8	Показатель консистенции	I_L	Безразмерная величина	-	-
9	Коэффициент пористости	e	Доли единицы	-	-

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
10	Степень влажности	G	Доли единицы	-	-
11	Коэффициент фильтрации	$K_ф$	Метр в сутки	м/сутки	см/с
12	Гигроскопическая влажность	W_r	Доли единицы	-	-
13	Временное сопротивление одноосному сжатию	R_c	Паскаль	МПа	Ра
14	Нормальное удельное давление	Р	"	Па	Ра
15	Угол внутреннего трения	φ	Градус	о	о
16	Сцепление	С	Паскаль	Па	Ра
17	Модуль деформации	Е	"	Па	Ра
18	Удельное сопротивление пенетрации	$Р_п$	"	Па	Ра
19	Относительное содержание растительных остатков	q	Доли единицы	-	-
20	Показатель просадочности	П	Безразмерная величина	-	-
21	Относительная просадочность	$\delta_{пр}$	Доли единицы	-	-
22	Начальное просадочное давление	$Р_{пр}$	Паскаль	Па	Ра

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
22	Начальная просадочная влажность	$W_{пр}$	Доли единицы	-	-
24	Относительное свободное набухание	$\delta_н$	То же	-	-
25	Давление набухания	$P_н$	Паскаль	Па	Ра
26	Влажность набухания	$W_н$	Доли единицы	-	-
27	Относительная усадка набухания	$\delta_у$	То же	-	-
28	Коэффициент консолидации грунтов	C_v	Сантиметр квадр. в секунду	$см^2/сек$	$см^2/с$
29	Величина избыточного давления в поровой воде	U	Паскаль	Па	Ра
30	Относительная величина суффозионной осадки	$\delta_с$	Доли единицы	-	-
31	Природное бытовое давление	$P_б$	Паскаль	Па	Ра
32	Коэффициент Пуассона	μ	Безразмерная величина	-	-
33	Коэффициент сжимаемости	a	Обратная величина Паскаля	1/МПа	1/МПа
34	Степень выветрелости	$K_{вс}$	Доли единицы	-	-

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
35	Коэффициент размягчаемости	$K_{рз}$	Доли единицы	-	-
36	Степень неоднородности зернового состава	U	То же	-	-
37	Коэффициент выветрелости	$K_{вк}$	"	-	-
38	Содержание крупнообломочных включений	η	"	-	-

Примечание. В пунктах 1, 2, 3 наименование "плотность" соответствует применявшемуся неверно ранее названию "удельный вес", "объемный вес", "объемный вес скелета". Обозначение плотности соответствует СИ, выражение величин - МКС.

1.12. Прием образцов на лабораторные исследования сопровождается тщательным осмотром и установлением их пригодности для анализа, а также регистрацией в журнале приемки.

1.13. Монолиты и образцы грунтов, не пригодные для анализа, к работе не допускаются, на непринятые образцы составляется акт произвольной формы.

1.14. Записи наблюдений, взвешиваний, замеров в ходе исследований производятся в рабочих журналах установленной в производственном объединении "Стройизыскания" формы.

1.15. Правила ведения лабораторной документации приводятся в приложении 2.

1.16. Результаты лабораторных исследований грунтов заносятся в бланки установленной формы (приложение 3) или на перфокарту (приложение 4).

1.17. Срок хранения в лаборатории заданий на лабораторные работы и сводных ведомостей результатов исследований грунтов, а также рабочих журналов, регламентирует с я "Положением о сроках хранения инженерно-геологической документации", 1975.

1.18. Задания на лабораторные работы хранятся в лаборатории в течение одного года после сдачи работ заказчику.

1.19. Рабочие журналы хранятся в лаборатории 10 лет после окончания изысканий. Ведомости результатов определения физико-механических свойств грунтов хранятся постоянно или до составления копии на микрофильме.

1.20. Срок хранения остатков монолитов и образцов нарушенной структуры устанавливается до выпуска инженерно-геологического отчета.

1.21. Все лабораторное хозяйство - приборы, оборудование, весы и т.д. - должно находиться в образцовом порядке.

1.22. Лабораторные средства измерений (весы, манометры, индикаторы и др.) подвергаются государственной поверке в сроки, установленные метрологической службой(Приложение 5).

1.23. Электрическое оборудование должно находиться под контролем электротехника.

1.24. При установке, загрузке и разгрузке приборов, включении и выключении машин, электрооборудования, нагревательных приборов и т.д. соблюдение правил техники безопасности обязательно.

1.25. Все виды лабораторных работ производятся в строгом соответствии с "Инструкцией по безопасному ведению работ при инженерно-строительных изысканиях". Выпуск 8. Лабораторные работы . ИМД 38-75 "Стройизыскания".

1.26. Исследованию физико-механических свойств грунтов предшествует детальное макроскопическое их изучение и описание, позволяющее уточнить их состав, строение(структурные и текстурные особенности), физическое состояние и свойства. После макроскопического изучения пород начинаются собственно лабораторные исследования их физико-механичес-

ких свойств с применением различных специальных методов.

1.27. В зависимости от решаемых задач и технических возможностей в программу исследований может входить изучение полного комплекса свойств (вещественного состава и строения, физических, водных и механических свойств) или исследования выполняются по сокращенной программе, когда изучаются только вещественный состав, строение, физические свойства грунта.

1.28. Рациональная схема последовательного изучения физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов может быть следующей (рис. 1):

а) монолит (проба) регистрируется в лабораторном журнале, освобождается от упаковки (парафина, марли) и из него вырезаются отдельные образцы для дальнейших исследований. Большинство образцов, особенно из монолитов глинистых грунтов, вырезается методом режущего кольца (набухание, размокание, компрессия и т.д.);

б) в процессе разделки пробы без промедления определяется плотность и естественная влажность грунта;

в) параллельно с определением влажности и плотности грунта производится макроскопическое его изучение и описание, отбираются кусочки образца для изготовления шлифов;

г) часть грунта естественной влажности оставляется для подготовки к определениям пределов пластичности;

д) неиспользованная часть пробы высушивается до воздушно-сухого состояния и направляется для дальнейшего исследования по заданию .

1.29. Соблюдение вышеизложенных требований необходимо для обеспечения правильности, надежности и соответствующей точности результатов лабораторных исследований состава,состояния, строения и физико-механических свойств грунтов.

1.30. Контроль качества лабораторных работ осуществляется согласно "Указаниям по контролю за качеством производства и по приемке инженерно-геологических работ" ВНМД 18-73, Росглавниистройпроект.

1.31. Результаты лабораторных исследований заносят в сводные ведомости или паспорта.

Удобно вписывать результаты полных исследований физико-механических свойств грунтов на перфокарты (прилож. 4).

На лицевой стороне перфокарты отражаются результаты определения состава и физических свойств, на обратной стороне - механические свойства грунтов.

1.32. Статистическая обработка основных показателей физико-механических свойств грунтов производится по ГОСТ 20522-75.

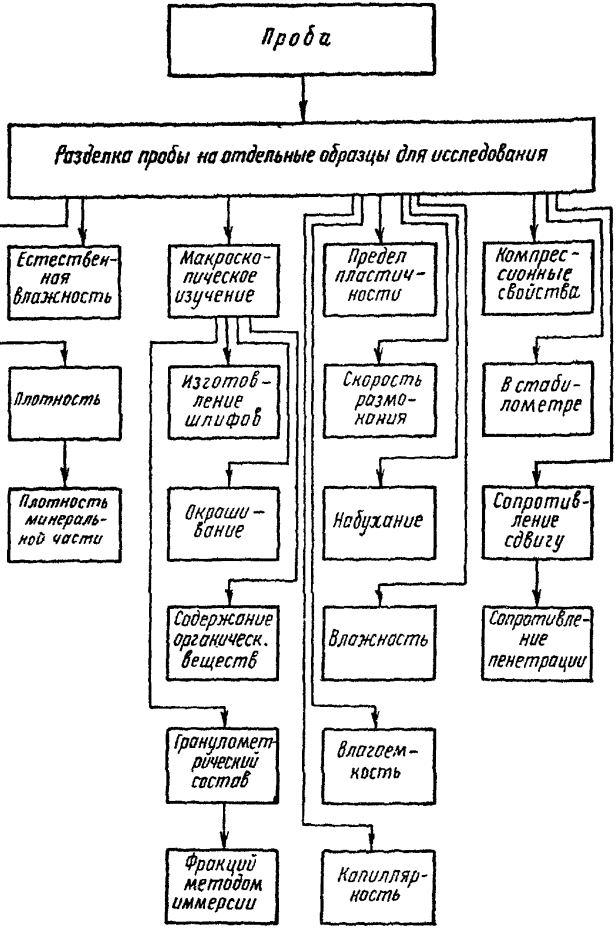


Рис. 1. Схема изучения вещественного состава, строения и физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И СТРОЕНИЯ ГРУНТОВ

Макроскопическое изучение и описание грунтов

2.1. Макроскопическое изучение и описание грунтов в лабораторных условиях дополняет полевые наблюдения и уточняет их по отношению к определенной пробе грунта и, кроме того, дает возможность критически оценить результаты лабораторных исследований.

2.2. При макроскопическом изучении грунтов делается описание всех основных признаков: цвета и оттенков, строения (структуры и текстуры), сложения, влажности, включений, новообразований, плотности, консистенции и др.

2.3. При макроскопическом описании используется лупа, наблюдается поведение грунта при смачивании водой, перемятии при разрушении ножом, производится опробование грунта на вскипание от 10%-ной соляной кислоты.

2.4. При определении цвета, строения, сложения грунта, влажности, плотности, консистенции, включений и других признаков используются геологические приемы, применяемые в полевых условиях.

2.5. Результаты макроскопического изучения грунта заносятся в лабораторный журнал.

Гранулометрический (зерновой) состав грунтов

2.6. Гранулометрическим составом грунта называется весовое содержание в грунте частиц различной крупности, выраженное в процентах по отношению к весу сухой навески, взятой для анализа (ГОСТ 12536-67).

2.7. Основными методами для определения гранулометрического состава является ситовой анализ; для глинистых грунтов - пипеточный или ареометрический.

Для определения гранулометрического состава крупнообломочных грунтов с глинистым заполнителем, глинистых грунтов с включениями, супесчаных грунтов применяют сочетание ситового анализа с пипеточным или ареометрическим методами (комбинированный метод).

2.8. Для проведения ареометрического или пипеточного анализов навески берут из средней пробы воздушно-сухого грунта или грунта с естественной влажностью. Для грунтов с повышенным содержанием органических веществ обязательно берут навеску грунта с естественной влажностью, так как в пересушенных образцах благодаря наличию гумусированных частиц увеличивается коагуляция тонкодисперсной фракции.

Одновременно отбирают пробы для определения естественной влажности из грунтов с природной влажностью или с гигроскопической влажностью из воздушно-сухого грунта.

2.9. В зависимости от назначения исследования приме-

няют дисперсный или микроагрегатный способ подготовки грунта к анализу.

Дисперсный анализ проводят с целью определения количества первичных частиц, слагающих грунт. При этом анализе применяют механическую и химическую обработку грунта.

При микроагрегатном анализе подготовка проб заключается в том, что стремятся разрушить только крупные и водонепрочные микроагрегаты. При этом способе применяют в основном механическую обработку грунта. Химическую обработку применяют только для засоленных грунтов.

Механическая обработка грунта заключается в размачивании естественных комков в воде, взбалтывании на специальном аппарате и кипячении суспензии в течение одного часа.

2.10. При определении гранулометрического состава засоленных грунтов необходимо или отмыть грунт дистиллированной водой от содержания в нем легкорастворимых солей, или ввести в подготовленную суспензию вещества, способные стабилизировать эту суспензию от воздействия коагуляции.

Для устранения коагуляции грунта рекомендуется применять пирофосфорно-кислый натрий. Для этого в колбу с суспензией грунта добавляют 25 $см^3$ 4%- или 6-7%-ного пирофосфата натрия (4% - из расчета на безводный пирофосфат натрия $Na_4P_2O_7$ и 6-7% из расчета на водный пирофосфат натрия $Na_2P_2O_7 \cdot 10H_2O$).

Пирофосфат натрия добавляют к суспензии перед кипячением при анализе некарбонатных грунтов; при анализе карбонатных грунтов пробу грунта растирают с пирофосфатом натрия.

При расчете гранулометрического состава вводится поправка на содержание пирофосфата в 25 мл его водного раствора (а). Содержание пирофосфата во всей пробе рассчитывается по формуле

$$A = \frac{аб}{1000},$$

где а - сухой остаток пирофосфата в 25 мл, г;
б - объем пипетки, мл.

2.11. Ввиду того, что результаты гранулометрического анализа зависят от способа подготовки грунта к анализу, сравнимые результаты могут быть получены только при одинаковом способе подготовки; результаты гранулометрического анализа должны сопровождаться указаниями о способе подготовки грунта.

Гранулометрический состав в большой степени влияет на механические свойства грунтов, в ряде случаев он необходим для объяснения различных значений механических показателей, вследствие чего желательно механические испытания сопровождать определениями гранулометрического состава. При инженерно-геологических исследованиях рекомендуется применять микроагрегатный анализ.

а) Ситовой метод

2.12. Ситовой анализ выполняют для определения гранулометрического состава песчаных грунтов согласно ГОСТ 12536-67.

Для проведения указанного анализа необходимо иметь комплект сит с диаметром отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; и 0,10 мм. Последние два сита применяются только при ситовом анализе с промывкой водой.

Ситовой анализ является самостоятельным, если выделяются только фракции крупнее 0,1 мм и составной частью комбинированного анализа при выделении в грунте пылеватых и глинистых фракций.

б) Пипеточный метод

2.13. Определение гранулометрического состава глинистых грунтов пипеткой основано на принципе различной скорости падения частиц в воде.

Пипеточным анализом определяется содержание фракций в грунте: 0,05-0,01 мм; 0,01-0,005 мм, $\leq$ 0,005 мм.

2.14. При проведении гранулометрического анализа пипеточным методом рекомендуется ускоренная методика, предложенная Гипроводхозом.

Содержание пылеватых и глинистых частиц по ускоренной методике определяется с помощью специальной пипетки без выпаривания и высушивания отобранных проб. Конструкция пипетки показана на рис. 2.

Принцип предложенной методики заключается в сопоставлении масс воды и суспензии, взятых в одном объеме.

2.15. Ход испытаний. Для анализа берут навеску из средней пробы 20-25 г. Подготовленный грунт (см.п.п.2.8-2.9) промывают через сито с диаметром отверстий 0,1 мм и выливают в цилиндр, другой цилиндр заполняют дистиллированной водой. Температура воды и суспензии поддерживается одинаковой.

С помощью указанной пипетки емкостью 100 мл отбирают пробы суспензии и воды, которые выливают в заранее взвешенные стаканчики емкостью 120-150 мл. Взвешивание стаканчиков выполняют на технических весах.

Пробу воды отбирают троекратно, разница в весах не должна превышать 0,04 г, в расчет берут среднее значение из трех взвешиваний.

После взвешивания содержимое стакана выливают обратно в цилиндр, чтобы общее количество суспензии в течение анализа практически оставалось постоянным.

2.16. Промежутки времени, необходимые для взятия пробы, определяются по формуле Стокса.

В таблице (приложение 6) указывается время отбора проб суспензии, содержащей различные фракции при разных значениях величин плотности минеральной части грунта и тем-

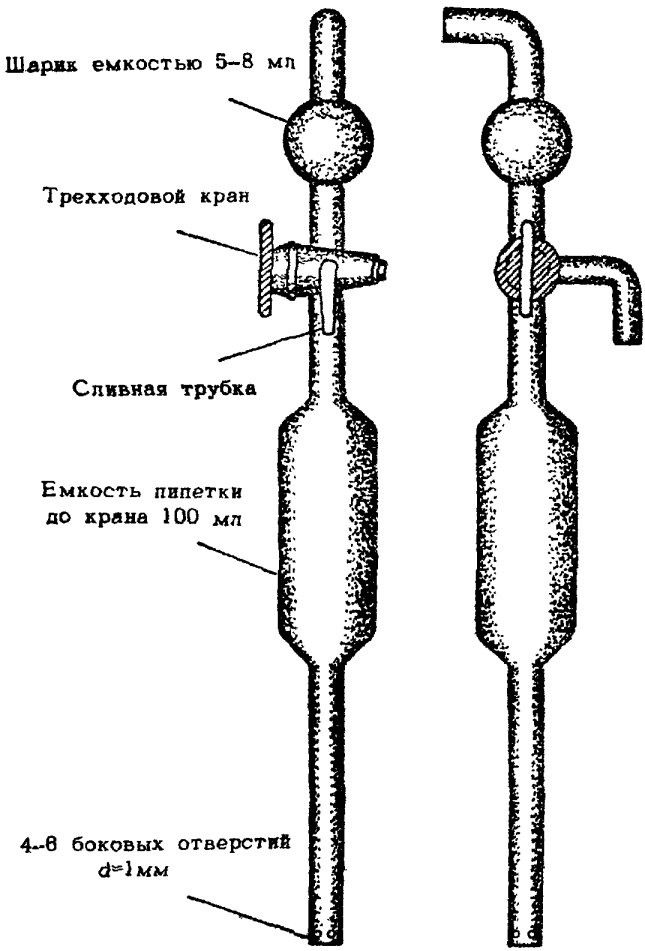


Рис. 2. Пипетка (Богданова) для ускоренного определения гранулометрического состава грунтов

пературы суспензии.

2.17. Для расчета фракций $< 0{,}1$ мм, отобранных пипеткой, вводятся следующие обозначения:

q – масса воды в объеме пипетки, г;

Q – масса суспензии в объеме пипетки, г;

P – масса частиц грунта в пробе, взятой пипеткой, г;

$\rho_м$ – плотность минеральной части грунта, г/см^3;

U – масса объема воды, вытесненной частицами грунта, г.

$$U=\frac{P}{\rho_м};\ Q=q-U+P \quad \text{или} \quad Q=q-\frac{P}{\rho_м}+P$$

После ряда преобразований масса грунта взятой пробы суспензии (р) рассчитывается по формуле

$$P=\frac{\rho_м}{\rho_м-1}(Q-q).$$

Весовое содержание каждой фракции рассчитывается по формуле

$$x=\frac{\rho_м}{\rho_м-1}(Q-q)\cdot H,$$

где Н – отношение объема всей суспензии к объему пипетки.

Если выражение $\frac{\rho_м}{\rho_м-1}$ обозначить через М, а $Q-q$ – через R, то формула примет вид: $x=MHR$.

Для удобства расчета выражение МН берется из таблицы (приложение 7).

в) Ареометрический метод

2.18. При инженерно-геологических исследованиях для определения гранулометрического состава глинистых грунтов широко применяют ареометрический метод, который выполняют согласно ГОСТ 12536-67.

В соответствии с ГОСТ берут 10 отсчетов для определения плотности суспензии по ареометру, а затем по номограмме находят диаметры частиц и их процентное содержание. Данную в ГОСТ номограмму можно заменить более облегченной номограммой, предложенной НижневолжТИСИЗом (приложение 8).

2.19. С целью ускорения обработки данных ареометрического анализа применяют методику, разработанную Гипроводхозом. Сущность методики состоит в том, что, зная скорость падения грунтовых частиц в воде, можно рассчитать время замера по ареометру таким образом, что оценка плотности суспензии будет давать ответ о количественном содержании грунтовых частиц определенного размера, находящихся во взвешенном состоянии в суспензии.

2.20. Тарировку ареометра выполняют согласно ГОСТ (пример тарировки ареометра дан в приложении 9). После тарировки производят расчет скорости падения частиц соответствующего диаметра и берут отсчет по ареометру, когда на

заданной глубине будут только частицы меньше лимитирующего диаметра, что позволяет для получения данных анализа сделать всего три, а если необходимо определить содержание частиц $< 0{,}001$ мм, то четыре замера по ареометру и рассчитать процентное содержание фракций, не пользуясь номограммой.

2.21. Для составления таблицы времени взятия проб берут одно значение величины R и соответствующее значение H_R для каждой температуры.

Практические испытания показали, что наиболее удобно для определения процентного содержания фракций $<0{,}05$ мм взять $R = 6$ и соответствующее значение для $H_R = 6$, для частиц $<0{,}01$ мм – $R = 4$ и $H_R = 4$, для частиц $<0{,}005$ мм – $R = 2$ и $H_R = 2$ и для частиц $< 0{,}001$ мм – $R = 1$ и $H_R = 1$.

Определив эти значения величин H_R по тарировке ареометра, составляют таблицу времени взятия отсчетов ареометра по формуле

$$t = \frac{S}{V},$$

где t – искомое время;

S – путь;

V – скорость.

Путь падения частиц равен соответствующему значению H_R, а скорость падения определяют по формуле Стокса. В приложении 10 приведена таблица скорости падения частиц грунта в воде при различном значении ее температуры по Стоксу.

В большинстве случаев плотность твердых частиц можно принять: для супесей – 2,65 г/см^3, для суглинков и глин – 2,70 г/см^3.

Примерный расчет времени падения частиц глинистого грунта при температуре 20°С дан в приложении 11.

2.22. Ход испытаний. Выполняют тарировку ареометра в соответствии с указаниями ГОСТ 12536-67. Составляют таблицу времени отсчетов для данного ареометра. Подготовку грунта к ареометрическому анализу осуществляют по той же методике, что и для пипеточного метода (п. 2.15). При этой подготовке в стеклянных цилиндрах остается грунтовая суспензия, содержащая частицы диаметром менее 0,10 мм. Для упрощения технологии испытаний навеску грунта принимают равной 25 г.

Приготовив партию цилиндров с грунтовой суспензией, ставят дополнительно один цилиндр с водой (или водой и диспергатором) для определения начального отсчета R_0 и один цилиндр с водой, в котором находится ареометр до начала отсчетов.

Определяют R_0, если $R_0 < 1$, например, 0,999, то в журнале пишут – 1, если 0,998, то пишут – 2, знак минус показывает, что плотность воды менее 1,000.

Специальной мешалкой взбалтывают суспензию в цилиндрах в течение одной минуты. Отсчет времени по секундомеру ведут от конца взбалтывания. За 10–15 с до замера осторожно опускают ареометр в цилиндр с суспензией и по таблице определяют время отсчета.

2.23. Обработка результатов. Процентное содержание фракции определяют по формуле

$$X = \frac{\rho_2 \cdot R}{(\rho_2 - \rho_в) g_0} (100 - K)\%,$$

где R — отсчет по ареометру с поправками;

ρ_2 — плотность твердых частиц грунта, г/см^3;

$\rho_в$ — плотность воды, г/см^3;

g_0 — масса грунта, взятая на анализ с учетом гигроскопической или естественной влажности, г;

K — суммарное содержание фракций крупнее 0,5 мм.

Определив суммарное процентное содержание фракций для указанных интервалов времени, находят процентное содержание каждой фракции последовательными вычитаниями из большей величины меньшей.

Фракцию 0,10–0,05 находят по разности: из 100% вычитают сумму всех фракций, включая данные ситового анализа.

г) Комбинированный метод

2.24. При проведении комбинированного метода данные, полученные ареометрическим или пипеточным методом, увязывают с данными ситового анализа.

Содержание фракции размером более 0,1 мм вычисляют по формуле

$$L = \frac{g_n}{g_0} (100 - K),$$

где g_n — масса данной фракции, высушенной до постоянной массы, г;

g_0 — масса грунта с учетом гигроскопической или естественной влажности, %;

K — суммарное содержание фракции размером более 0,5 мм, %.

Минеральный состав песчаных и глинистых грунтов

2.25. При инженерно-геологическом изучении грунтов важно знать содержание в них тех минералов, которые находятся в грунтах в больших количествах и оказывают влияние на их свойства. В формировании свойств связных грунтов,

глинистых и лёссовидных особое значение имеет минеральный состав их глинистой фракции, т.е. частиц размером $<1\mu$, но в ряде случаев влияние глинистых минералов на инженерно-геологические свойства глинистых грунтов осложняется присутствием в них карбонатов, гипса, легкорастворимых солей, органического вещества.

Основными минералами глинистой фракции являются гидрослюды, монтмориллонит и каолинит. Эти минералы в силу различия в строении их кристаллических решеток обладают резко различными свойствами. Менее распространены такие глинистые минералы как хлорит, палыгорскит, галлуазит.

В зависимости от поставленных задач для изучения минерального состава применяется ряд методов. В настоящем Руководстве приводятся наиболее простые методы, дающие общее представление о качестве и количестве глинистых минералов,- иммерсионный и окрашивания.

2.26. Методы подготовки грунта к разделению на фракции и методы выделения фракции менее 1μ. Для определения минерального состава глинистой фракции проба грунта освобождается от веществ, цементирующих частицы глинистых минералов или коагулирующих их в суспензии, - карбонатов, легкорастворимых солей, гидроокислов железа, органического вещества. Эти соединения затрудняют полное выделение глинистой фракции.

2.27. Карбонатные грунты обрабатываются следующим образом: берут среднюю пробу воздушно-сухого грунта, просеянного через сито 1 мм, из расчета 15 г фракции $<1\mu$. Образец грунта помещают в стакан с дистиллированной водой, куда добавляют 2%-ную HCl до прекращения выделения пузырьков CO_2 (в случае сильно карбонатных пород концентрация может быть увеличена до 10%, но при такой обработке магнезиальные силикаты могут частично растворяться).

В стакан приливают 0,05 $H \cdot HCl$, перемешивают и сливают прозрачный слой суспензии. Эта операция продолжается до потери реакции Ca^{+} (реакция с оксалатом аммония при нагревании). Далее ведут отмывание грунта от хлора дистиллированной водой путем сливания прозрачного слоя суспензии декантацией до тех пор пока суспензия не будет устойчивой.

Если в пробе присутствует хлор, отмывание продолжают декантацией на воронках с фильтрами. В случае прохождения частиц через фильтр отмывание прекращается. Содержание фильтра и стакана переносят в поллитровую бутылку, доливают дистиллированную воду и взбалтывают на Шюттель-аппарате в течение двух часов (или растирают в тестообразном состоянии пестиком с резиновым наконечником).

2.28. Некарбонатные породы, дающие устойчивую суспензию, не обрабатывают 2%-ной HCl, а сразу начинают отмывание кальция 0,05 $H \cdot HCl$. Последующие операции те же, что и описанные выше.

Породы засоленные водорастворимыми солями необходимо освободить от солей многократным сливанием прозрачного слоя суспензии.

2.29. Органическое вещество удаляют из грунта действием 6%-ного раствора перекиси водорода при нагревании на водяной бане до исчезновения серой окраски.

Удаление железистых пленок, свободных гидроокислов железа производят по методике Тамма (смесь щавелевой кислоты и щавелевокислого аммония) и другими способами.

2.30. Выделение фракции $<1\mu$.

Пробу, освобожденную от коагулирующих суспензию соединений, переносят в трехлитровую банку № 1 с двумя делениями в верхней части, находящимися на расстоянии 7 см друг от друга. Доливают банку дистиллированной водой до верхней метки и перемешивают мешалкой. Через сутки верхний слой суспензии (7 см) сливают сифоном в банку №2 для частиц $<1\mu$. Банку № 1 доливают дистиллированной водой до верхней метки, взбалтывают и оставляют на сутки. Операцию по сливанию верхнего 7-сантиметрового слоя суспензии повторяют до его полного осветления. По мере сливания суспензии частиц $<1\mu$ в банку № 2 суспензию выпаривают на водяной бане в фарфоровой чашке. Выпаривать суспензию досуха не рекомендуется, так как в этом случае происходят изменения, затрудняющие исследование фракций. Влажную глинистую фракцию досушивают на воздухе.

Для ускоренного получения глинистой фракции вместо водяной бани можно использовать центрифугу, фильтрование на воронках Бюхнера или коагуляцию (при РН 3-4) соляной кислотой. Высушенную фракцию растирают в агатовой ступке до порошка. Следует помнить, что длительное растирание фракции меняет диагностические признаки минералов.

Минеральный состав грунтов

а) Иммерсионный метод

2.31. Иммерсионный метод основан на изучении ориентированных частиц глинистой составляющей связных грунтов на специально приготовленных препаратах. При этом методе зерна минералов и их агрегаты, погруженные в иммерсионные жидкости, исследуют под микроскопом, при этом производят подсчет содержания зерен тех или иных минералов, определяют форму агрегатов и их оптические свойства (приложение 12).

2.32. Для применения этого метода требуются поляризационный микроскоп и набор жидкостей с известными показателями преломления. В этот набор входят до 100 жидкостей с показателями преломления от 1,40 до 1,79.

Порядок определения. С высушенной глинистой массы, покрывающей дно чашки тонкой корочкой (см. описание выше), срезают с поверхности лезвием бритвы тонкую мелкую стружку, которую наносят на несколько (6-8) предметных стекол

вместе с каплей иммерсионной жидкости. Стружка распределяется равномерно в иммерсионной жидкости и изучается под микроскопом при увеличении 40–80, а иногда 120 раз. Жидкости подбирают две соседние, чтобы одна имела показатель преломления больше, а другая – меньше, чем у исследуемого минерала.

2.33. Иммерсионный метод позволяет определять минеральный состав отдельных фракций, слагающих песчаные породы и устанавливать наличие в их составе неустойчивых минералов.

2.34. Гидрослюдистые глины в препаратах дают удлиненные агрегаты щепковидной или веретеновидной формы. Показатели преломления их изменяются от 1,555 до 1,600, двупреломленные – от 0,018 до 0,030. Каолинитовые глины образуют агрегаты изометричной или удлиненной формы с извилистыми краями. Показатели преломления их находятся в пределах 1,561–1,570, двупреломленные – 0,05–0,009. Монтмориллонитовые глины образуют агрегаты характерной спиралевидной, веерообразной или серповидной формы с показателями преломления 1,480–1,510 и двупреломлением 0,018–0,030.

б) Метод окрашивания

2.35. Метод определения минерального типа глинистых грунтов с помощью органических красителей (Н.Е.Веденеева, М.Ф.Викулова, М.А.Фатеев) основан на способности глинистых частиц разного кристаллического строения окрашиваться в различные цвета. Окрашиванию подвергают глинистые, песчано-глинистые, карбонатные и другие грунты, преимуществе н н о светлые. белые, серые с разными оттенками (желтоватые, зеленоватые и др.), зеленые, синие. Темно-серые и черные глины, богатые органическим веществом, и красно-бурые, содержащие окислы железа, подлежат окрашиванию после удаления из них примесей.

2.36. Порядок определения. Для работы применяют следующие посуду и реактивы: 1) пробирки и штативы для них; 2) колбы емк. 0,5 и 1,0 л; 3) бюретки емк. 1 и 5 мл; 4) фарфоровые чашки; 5) органические красители в порошках (метиленовый голубой, бензидин, хризоидин); 6) хлористый калий; 7) соляная кислота 5%-ная и 10%-ная; 8) силикагель мелкий крупнопористый (МСК).

2.37. Приготовляют водные растворы красителей следующих концентраций:

1) метиленовый голубой (МГ) – 0,001% (10 мг сухого МГ растворяют в 1 л дистиллированной или кипяченой воды);

2) бензидин (БН) – 0,5 г сухого БН всыпают в склянку 500 $см^3$, которую наполняют водой. Изредка взбалтывая, дают раствору постоять 2–3 часа, после чего отфильтровывают и полученный раствор разбавляют вдвое;

3) хризоидин – 0,0001%-ный раствор (1 мг сухого порош-

ка растворяют в 1 л воды);

4) хлористый калий (*KCl*) - насыщенный раствор.

Все красители хранятся в темном месте.

2.38. Окрашивание метиленовым голубым производится следующим образом.

Кусочек грунта массой 0,5-1 г замачивают водой, растирают, переносят в пробирку и заливают водой. Чтобы получить более плотную суспензию песчано-глинистых грунтов, массу исследуемого грунта несколько увеличивают, а воды - уменьшают. Полученную суспензию взбалтывают в пробирке и оставляют на сутки.

Через сутки, если суспензия не скоагулирована, верхние 7 см сливают в чистую пробирку. Если суспензия очень густая, ее разбавляют водой. Внешне она должна иметь вид слегка мутной воды.

Если суспензия через сутки осела (скоагулирована) и над осадком получился слой чистой воды, его сливают, пробирку вновь доливают водой, взбалтывают и оставляют на сутки. Так поступают до тех пор, пока суспензия не станет устойчивой.

Сильно засоленные грунты предварительно перед окрашиванием промывают водой, а в случае присутствия карбонатов - 2%-ной соляной кислотой при комнатной температуре в течение 24 часов с последующей отмывкой хлора.

В чистую пробирку наливают 5 мл приготовленной суспензии, добавляют такое же количество МГ и взбалтывают; затем половину этой суспензии отливают в другую пробирку и в нее добавляют 2 капли насыщенного раствора *KCl* . Обе пробирки (одна с МГ, другая с МГ +*KCl*) взбалтывают. Через сутки производят наблюдение.

При наблюдении отмечают цвет раствора в обеих пробирках и его прозрачность, характер осадка в обеих пробирках (гелевидный, плотный, с гелевидным налетом и т.д.), его цвет и устанавливают, полностью ли окрашен осадок или только его верхняя часть. Затем обе пробирки взбалтывают и наблюдают характер окрашивания всей суспензии в целом.

Если в пробирке с МГ суспензия осела полностью, раствор над осадком стал прозрачным, бесцветным, а осадок не окрашен, то прозрачный бесцветный раствор сливают и добавляют еще 5 мл МГ. Такое явление наблюдается в некоторых гидрослюдистых глинах. Иногда краситель добавляют несколько раз.

Если в пробирке с МГ часть суспензии не осела и окрашена, то определяют ее цвет. Затем пробирку взбалтывают и наблюдают цвет всей суспензии. Если он не изменился, то наиболее дисперсная часть содержит тот же минерал, что и осадок в целом. Если цвет изменился, значит тонкодисперсная и более грубодисперсная (в осадке) части суспензии различны по составу.

2.39. Цвет окрашенной суспензии определяют визуально на белом фоне при дневном свете по специально изготовленной 10-балльной шкале (рис.3). Отмечаются также и оттенки, которые могут быть обусловлены примесями других глинистых минералов, а также неглинистых минералов или растворенных соединений. Важно обращать внимание на яркость и чистоту цвета окрашенных суспензий.

2.40. Каолинитовые глины окрашиваются МГ в блекл ый светло-фиолетовый цвет, который не меняется от добавки *KCl* Примесь гидрослюды вызывает изменение окраски от добавки *KCl* в фиолетово-синий, синий или голубой цвета (в зависимости от увеличения гидрослюды). Осадок плотный.

2.41. Гидрослюдистые глины окрашиваются в фиолетово-синие и синие цвета, мало изменяющиеся от добавки *KCl*, или ведут себя так же, как и каолинитовые глины и тогда их можно отличить от каолинита с помощью окрашивания бензидином. Осадок плотный.

1	Фиолетовый (Ф)
П	Фиолетово-синий (Ф-С)
Ш	Синий (С)
1У	Сине-голубой (С-Ч)
У	Голубой (Г)
У1	Голубовато-зеленый (Г-З)
УП	Зеленый (З)
УШ	Травяно-зеленый-зеленый (ТР-З)
1Х	Травяно-зеленый (ТР)
Х	Желто-зеленый (Ж-З)

Рис. 3. Цветная шкала, применяемая при определении минерального типа глинистых пород с помощью органических красителей

2.42. Монтмориллонитовые глины дают с Мг интенсивный чистый фиолетовый, фиолетово-синий или синий цвет, который с *KCl* становится ярко-голубым, голубовато-зеленым или зеленовато-голубым. Осадок гелевидный.

2.43. Для уточнения диагностики гидрослюд суспензию окрашивают бензидином. Для этого берут в пробирку 2 мл суспензии, приготовленной из исследуемого образца грунта, и добавляют такое же количество бензидина. Пробирку с содержимым взбалтывают. Наблюдение производят через сутки.

Гидрослюды слабо окрашиваются бензидином в грязно-

синий цвет. Иногда эта окраска не улавливается глазом и может быть установлена только с помощью спектрофотометра. Каолиновые глины бензидином не окрашиваются. Но иногда наблюдается незначительная их окраска, обусловленная примесью других глинистых минералов. Монтмориллонитовые глины окрашиваются бензидином в глубокий синий цвет.

2.44. При использовании хризоидина берут две пробирки и в каждую наливают по 1 мл приготовленной суспензии. В них же добавляют по 1 мл раствора хризоидина. В одну из пробирок приливают 1–2 капли 5%-ной *HCl*, чтобы ускорить оселение из суспензии.

Суспензии из монтмориллонитовых глин окрашиваются хризоидином в кирпично-красный цвет, который может быть ярко-красным при добавке красителя. Добавка одной капли раствора *HCl* вызывает коагуляцию и раствор становится бесцветным. Окраска осадка при этом остается неизменной. Суспензии каолинитовых и гидрослюдистых глин окрашиваются хризоидином в светло-желтый "канареечный" цвет. При оседании осадка из суспензии видно, что часть красителя остается в растворе.

Если, слив раствор, заменить его водой, то бледная желтая окраска осадка еще более бледнеет, так как часть красителя десорбируется.

Повторным промыванием можно почти полностью отмыть глину от хризоидина, чего невозможно добиться при окрашивании монтмориллонитовых глин.

2.45. Для установления примеси каолинита в любой глинистой породе применяется силикагель (искусственный гель кремнезема). Для этого в пробирку с суспензией, окрашенной МГ, опускают несколько зерен силикагеля. Пробирку оставляют на сутки. Если на следующий день силикагель окрасился МГ в синий цвет, это укажет на присутствие каолинита.

2.46. Из перечисленных красителей наиболее широко используется метиленовый голубой (основной краситель), который способен менять окраску в широком диапазоне – от фиолетовых до желто-зеленых тонов. Другие красители – хризоидин и бензидин – применяются для уточнения результатов окрашивания.

2.47. Результаты окрашивания изображаются графически (рис. 4) в виде кривых: одна сплошная – для показателя метиленового голубого, другая пунктирная – для МГ с добавкой *KCl*. Совпадение обеих кривых предполагает наличие смеси каких-либо глинистых минералов или частиц одного минерала, но разной степени изменения. Сильное расхождение указывает на наличие монтмориллонита.

2.48. Для удаления свободных окислов железа, окрашивающих глинистые породы в бурые, красновато-бурые и желтые тона различной интенсивности, предложен (Т.С. Берлин) следующий метод.

Каолиновые и монтмориллонитовые глины обрабатывают 3%-ным раствором щавелевой кислоты в присутствии металлического алюминия при температуре 40 и 80°С в течение 20,40, 60 мин в зависимости от содержания Fe_2O_3. Для гидрослюдистых глин такую обработку следует проводить при температуре 40°С в течение 1 часа.

Органическое вещество из глин может быть удалено раствором перекиси водорода различной концентрации от 6 до 16% при температуре 24, 40, 70°С в течение 90 мин.

Результаты, полученные методом окрашивания, позволяют сопоставлять их с макроскопическим изучением породы разреза. Зная состав преобладающего глинистого минерала, можно судить о физико-механических свойствах глинистых пород.

Минеральный состав карбонатных пород

2.49. При изучении инженерно-строительных свойств выветрелой зоны карбонатных пород, состоящей из крупнообломочного материала и заполнителя - муки, производится определение минерального состава породы.

2.50. Главнейшими породообразующими минералами карбонатных пород являются кальцит, доломит и терригенные минералы; реже присутствует сидерит, магнезит и другие карбонатные минералы.

2.51. Для предварительной оценки и определения минерального состава карбонатных пород производят их макроскопическое изучение, описание и исследование в шлифах.

2.52. Лабораторные методы анализа (химический, термический, иммерсионный, окрашивания) применяются для более точной диагностики и классификации карбонатных пород.

2.53. Наиболее распространенным из химических анализов карбонатных пород при инженерно-геологическом обследовании является анализ солянокислых вытяжек: сокращенный, основанный на разрушении карбонатов и определении нерастворимого остатка, и полный с изучением состава соляно-кислой вытяжки.

2.54. Иммерсионный метод изучения минерального состава карбонатных пород дает надежные результаты, так как карбонатные минералы заметно различаются по показателям преломления.

2.55. Метод окрашивания различными красителями также широко применяется для диагностики карбонатных минералов.

Определение карбонатности карбонатно-глинистых грунтов

2.56. Определение карбонатности (количественного содержания углекислых солей кальция, магния и натрия) глинистых пород необходимо для правильной их классификации, прогноза свойств, а также для решения генетических вопросов.

Простейшим методом определения карбонатности является

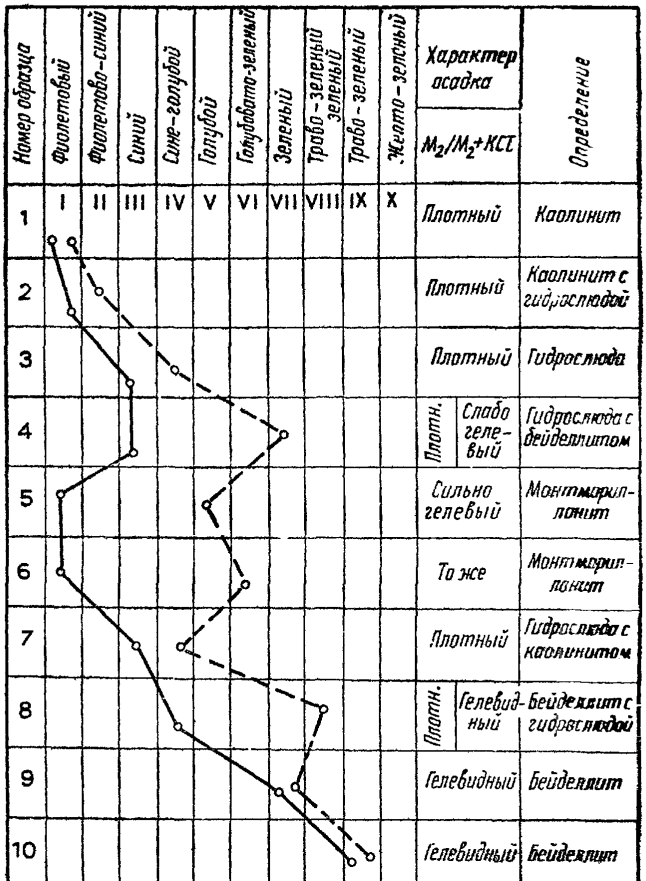


Рис. 4. График для диагностики глинистых минералов при их окрашивании метиленовым голубым красителем (МГ)

объемный, сущность которого заключается в определении с помощью прибора кальциметра объема CO_2, выделяющегося из растертого в порошок грунта при обработке его соляной кислотой

$$CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + H_2O + CO_2.$$

По объему вытесненной из грунта CO_2 вычисляется содержание в нем $CaCO_3$. В доломитизированных породах объем вытесненной CO_2 пересчитывается на карбонаты кальция и магния.

2.57. В зависимости от содержания $CaCO_3$ производится классификация карбонатно-глинистых пород по С.Г.Вишнякову. (табл.3).

Таблица 3

Содержание глинистого материала, %	Известковистый ряд		Доломитовый ряд	
	Породы	$CaCO_3$, %	Породы	$CaMg(CO_3)_2$, %
0–5	Известняк	95–100	Доломит	95–100
5–25	Известняк глинистый	75–95	Доломит глинистый	75–95
25–50	Мергель	50–75	Мергель доломитовый	50–75
50–75	Мергель глинистый	25–50	Мергель глинистый доломитовый	25–50
75–95	Глина известковая	5–25	Глина доломитовая	5–25
95–100	Глина	0–5	Глина	0–5

2.58. Кальциметр (рис.5) состоит из бюретки 1, градуированной на 250 $см^3$, помещенной в закрытый стеклянный цилиндр 2, укрепленный на штативе 3. Цилиндр сверху и снизу закрыт резиновыми пробками. В верхней пробке имеется воронка 4 для заполнения цилиндра водой и трубка 6 для выхода воздуха. Нижняя пробка имеет трубку 11 с зажимом для слива воды. Нижний конец бюретки соединен резиновой трубкой 10 с уравнительным стеклянным цилиндром 7, укрепленным на том же штативе.

Уравнительный цилиндр имеет в нижней части боковой отвод с краном 9. Кран резиновой трубки соединен с тубусом бутыли 8, закрытой пробкой с отводной трубкой. Верхний конец бюретки имеет трехходовой кран 5, соединенный резино-

вой трубкой со специальной склянкой 12, в которую впаяна пробирка.

В этой склянке производится обработка породы кислотой. Перед анализом прибор проверяется на герметичность, а затем бюретка и сообщающийся с ней уравнительный цилиндр заполняются насыщенным раствором хлористого натрия до метки на верхнем конце бюретки.

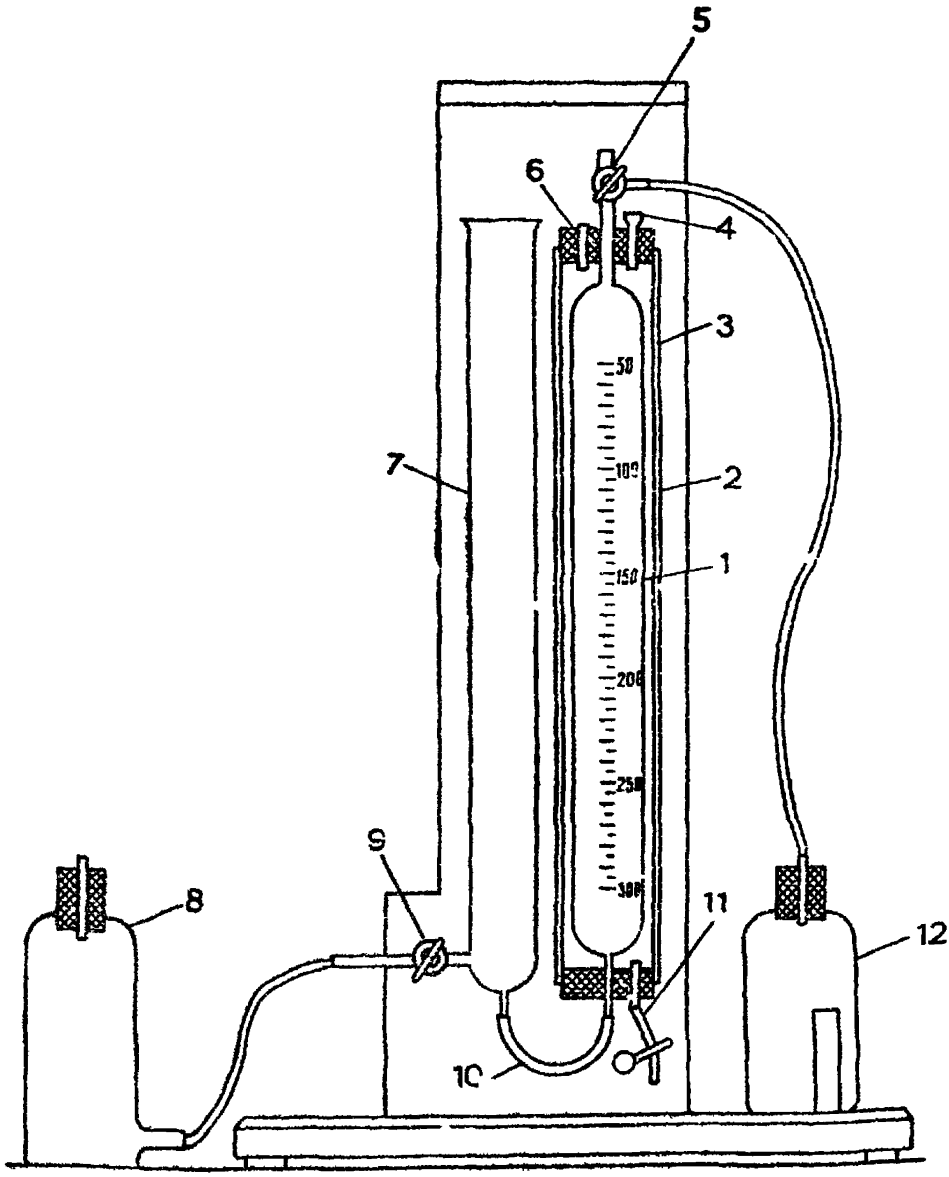


Рис. 5. Кальциметр

2.59. Из пробы грунта, растертого в порошок и высушенного при t = 100-105°С, берется навеска 1 г для сильно вскипающих от 10%-ной HCl грунтов, 2 г - для продолжительно вскипающих, 3 г - для явно, но кратковременно вскипающих и 5 г - для вскипающих слабо и кратковременно и помещается в специальную склянку. При помощи пипетки во впаянную пробирку осторожно наливается 10%-ная соляная кислота из расчета 10 $см^3$ на 1 г грунта. Поворотом трехходового крана бюретка соединяется со склянкой, после чего она наклоняется и соляная кислота выливается из пробирки. Склянку следует несколько раз встряхивать, чтобы полностью смочить кислотой грунт. Выделяющаяся при этом углекислота будет поступать в бюретку и вытеснять из нее жидкость. Открыв кран уравнительного цилиндра, дается возможность жидкости, вытесненной газом, стечь в бутыль, пока уровень жидкости в цилиндре не установится на уровне в бюретке. После выделения пузырьков углекислоты из грунта уровень жидкости в бюретке станет неизменным.

Когда это условие достигнуто и уровни жидкости в бюретке и цилиндре будут на одной высоте при закрытом кране, производится отсчет объема углекислоты.

Чтобы объем CO_2 в бюретке не подвергался изменению от случайных перемен температуры, в защитный цилиндр наливается вода.

2.60. По количеству углекислоты путем пересчета по формуле определяется процентное содержание $CaCO_3$.

$$X = \frac{U \cdot b \cdot 10}{44a},$$

где X - содержание $CaCO_3$ в исследуемой породе, %;

U - объем углекислоты, вытесненной из грунта;

b - масса 1 $см^3$ углекислоты, определяемая по табл.4;

a - масса грунта, взятая для анализа, г;

44 - молекулярный вес CO_2.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

3.1. Основными физическими свойствами грунтов являются влажность, плотность, плотность минеральной части, пористость, которые выражают физическое состояние грунта и по которым косвенно можно судить о прочности, деформируемости и устойчивости грунтов и об их изменчивости под влиянием геологических процессов и искусственных факторов.

Таблица 4

Масса 1 см^3 CO_2(мг) в зависимости от температуры и давления

Температура t, °C	Атмосферное давление P, мм рт.ст													
	742	744	747	749	751	753,5	756	758	760	762,5	765	767	769	771
28	I,778	1,784	1,791	1,797	1,804	1,810	1,817	I,823	I,828	I,833	I,837	I,842	I,847	I,852
27	I,784	I,790	I,797	I,803	1,810	I,816	1,823	I,829	I,834	I,839	I,843	1, 848	I,853	I,858
26	I,791	1,797	1,803	1,809	I,816	I,822	1,829	I,835	I,840	I,845	I,848	I,854	I,859	1,864
25	I,797	I,803	I,810	I,816	I,823	I,829	I,836	I,842	I,847	1,852	1,856	1,861	I,866	I,871
24	I,803	I,809	I,816	I,822	1,829	1,835	I,842	1,848	1,853	1,858	I,862	I,867	I,872	1,877
23	I,809	I,815	I,822	I,828	I,835	1,841	I,848	I,854	I,859	I,864	I,868	I,873	I,878	I,883
22	I,815	1,821	I,828	I,834	I,841	1,847	I,854	I,860	I,865	I,870	I,875	I,880	I,885	I,890
21	I,822	I,828	I,835	1,841	1,848	1,854	1,861	1,867	1,872	1,877	1,882	I,887	1,892	I,897
20	I,828	I,834	I,841	I,847	I,854	1,860	I,867	1,873	1,878	1,883	I,888	I,893	1,898	1,903
19	1,834	1,840	1,847	I,853	I,860	1,866	1,873	1,879	1,884	1,889	1,894	1,899	1,904	I,909
18	I,840	1,346	1,853	1,859	1,866	I,872	1,879	I,885	I,890	I,895	1,900	1,905	I,910	I,915
17	I,846	1,853	I,860	1,866	I,879	1,879	1,886	I,892	1,897	I,902	1,907	1,912	1,917	1,922
16	1,853	1,860	1,866	1,873	1,879	1,886	1,892	1,898	1,903	1,908	1,813	1, 918	1,923	I,928
15	1,859	1,866	1,872	1,879	I,886	I,892	1,899	I,905	I,910	1,915	1,920	1,925	I,930	1,935
14	1,855	1,872	1,878	1,885	1,892	1,899	1,906	1,912	1,917	1,922	1,927	1,932	1,937	1,942
13	1,872	1,878	1,885	1,892	1,899	1,906	1,913	1,919	1,924	1,9,9	1,934	1,939	1,944	1,949
12	1,878	1,885	1,892	1,899	1,906	1,912	1,919	1,925	1,930	1,935	1,940	1,945	1,950	1,955
11	1,885	1,892	1,899	1,906	1,913	1,919	1,926	1,932	1,937	1,942	1,947	1,952	1,957	I,962
10	1,892	1,899	1,906	1,913	1,920	1,926	1,933	1,939	1,944	1,949	1,954	1,959	1,964	1,969

Характеристики физических величин грунтов и формулы для расчета оценки их состояния приведены в табл. 5.

Влажность грунтов

3.2. Естественной влажностью грунта называется количество свободной и поверхностно связанной воды, содержащейся в порах грунта в естественных условиях его залегания.

Различают весовую и объемную влажность.

Весовой влажностью W называется отношение массы воды, содержащейся в грунте, к массе грунта, высушенного при t = 100-105°С до постоянной массы, выраженное в долях единицы.

Объемной влажностью называется отношение объема воды, заключенной в породе, к объему всей породы, выраженное в долях единицы (см.табл.5).

Определение естественной влажности грунта производится весовым методом по ГОСТ 5180-75.

3.3. Гигроскопической влажностью грунта называется отношение массы воды, удаляемой из образца воздушно-сухого грунта высушиванием при t = 100-105°С до постоянной массы, к массе высушенного грунта, выраженное в долях единицы.

3.4. В грунтах, содержащих значительное количество растительных остатков любой степени разложения, естественная влажность определяется по ГОСТ 5180-75, но при этом учитывается, что при температуре, превышающей 105°С, процессы окисления и распада органических веществ происходят более интенсивно, поэтому необходимо следить за температурой в сушильном шкафу.

Время сушки илов и сапропелей зависит от их дисперсности.

Ввиду большой неоднородности заторфованных грунтов определение естественной влажности производится с тремя и более параллельными испытаниями, из которых вычисляется среднее арифметическое значение.

Плотность грунтов

3.5. Плотностью грунта называется отношение массы данного объема грунта G_s к массе воды при t + 4°С, взятой в объеме всего грунта V с ненарушенной структурой.

Плотность зависит от минерального состава, пористости и влажности грунта.

3.6. Величина плотности используется как прямой расчетный показатель при:

1) вычислении давления грунта на подпорную стенку;
2) расчете устойчивости оползневых склонов и откосов;
3) расчета осадки сооружений;
4) расчете распределения напряжений в грунтах основания под фундаментами;
5) определении объема земляных работ;

Таблица 5

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ И ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ИХ СОСТОЯНИЯ

Характеристики	Обозначения	Формула для вычисления	Размерность
Плотность минеральной части горной породы	$\rho_м$	$\rho_м = \frac{q_1}{V_1}$	г/см^3
Плотность горной породы	ρ	$\rho = \frac{q_1 + q_2}{V_1 + V_2}$	г/см^3
Плотность скелета горной породы	$\rho_{ск}$	$\rho_{ск} = \frac{q_1}{V_1 + V_2} = \frac{\rho}{1+W}$	г/см^3
Плотность горной породы под водой	ρ'	$\rho' = \frac{\rho_{ск}(\rho_м - 1)}{\rho_м}$ $\rho' = (\rho_м - 1)(1-n)$	г/см^3
Влажность весовая	W	$W = \frac{q_2}{q} = \frac{\rho - \rho_{ск}}{\rho_{ск}}$	доли единицы
Влажность объемная	W_0	$W_0 = W \cdot \rho_{ск}$ $W_0 = \frac{e}{1+e}$	доли единицы
Полная влагоемкость или водоемкость	$W_п$	$W_п = (\frac{1}{\rho_{ск}} - \frac{1}{\rho_м})$; $W_п = \frac{n}{\rho_м(1-n)}$ $W_п = \frac{n}{\rho_{ск}}$ $W_п = \frac{\rho_м(1+W) - \rho}{\rho_м \cdot \rho}$	доли единицы
Степень влажности	G	$G = \frac{W \cdot \rho_м}{e \cdot \rho_b}$ $G = \frac{W}{W_п} = \frac{W \cdot \rho_м (1-n)}{n}$	безразмерная величина
Пористость	n	$n = 1 - \frac{\rho_{ск}}{\rho_м}$ $n = [1 - \frac{\rho}{\rho_м(1+W)}]$ $n = \frac{e}{1+e}$	проценты
Коэффициент пористости	l	$l = \frac{\rho_м - \rho_{ск}}{\rho_{ск}}$ $l = \frac{n}{1-n}$ $l = \frac{\rho_м(1+W)}{\rho} - 1$ $l = W \cdot \rho_м$ *(для водонасыщенного водой грунта)*	безразмерная величина

Продолжение табл. 5

Характеристика	Обозначение	Формула для вычисления	Размерность
Коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе текучести	l_L	$l_L = W_L \cdot \rho_м$	безразмерная величина
Предел пластичности (влажность на границе раскатывания)	W_p	–	доли единицы
Предел текучести (влажность на границе текучести)	W_L	–	доли единицы
Число пластичности	J_p	$J_p = W_L - W_p$	доли единицы
Показатель консистенции	J_L	$J_L = \frac{W - W_p}{J_p}$	безразмерная величина
Степень плотности	D	$D = \frac{(n_{max} - n)(1 - n_{min})}{(n_{max} - n_{min})(1 - n)}$ $D = \frac{l_{max} - l}{l_{max} - l_{min}}$	безразмерная величина
Уплотняемость песка	F	$F = \frac{l_{max} - l_{min}}{l_{min}}$ $F = \frac{n_{max} - n_{min}}{n_{min}(1 - n_{max})}$	безразмерная величина
Показатель степени уплотненности глинистых грунтов	K_d	$K_d = \frac{l_L - l}{l_L - l_p} = \frac{W_L - W}{J_p}$	безразмерная величина

6) для классификации грунта при вычислении плотности скелета грунта и пористости.

3.7. Определение плотности грунта производится по ГОСТ 5182-64.

3.8. В грунтах, содержащих значительное количество малоразложившихся растительных остатков, а также в торфах оп-

ределение плотности производится волюменометрическим методом.

3.09. Волюменометрический метод заключается в определении объема образца известной массы в жидкой среде. Для этого используется волюменометр системы Инсторфа (рис.6).

3.10. Волюменометр Инсторфа представляет собой два сообщающихся сосуда, один из которых – широкий, изготовленный из металла, служит для опускания в него испытуемого образца, а другой – тонкая стеклянная трубка – для отсчетов уровня жидкости в основном сосуде. Перед началом работы прибор градуируется по объему на каждое деление шкалы. Неотъемлемой частью прибора является металлическая сетка, в которой образец торфа при определении его объема опускается в волюменометр. Высота сетки немногим меньше 1/3 высоты цилиндра.

3.11. Определение объема образца начинают с подготовки образца к анализу, для чего образец заторфованного грунта или торфа произвольной формы (кусок), взвешенный на технических весах с точностью до 1 г, закладывают в сетку и вместе с ней опускают в сосуд с керосином, где выдерживают до того, пока не прекратится выделение пузырьков воздуха. Затем сетку с образцом извлекают из сосуда, после чего дают стечь керосину.

Волюменометр ставят на ровную поверхность и при помощи винтов его дну придают строго горизонтальное положение. В прибор на 1/3 наливают керосин и отмечают уровень его стояния, причем для отсчета берут то деление шкалы, которое совпадает с нижним мениском в стеклянной трубке. Отсчет производят с точностью до 0,25 деления. После того как отмечен уровень керосина, в сосуд волюменометра закладывают торф и по шкале отсчитывают новый уровень керосина. Разность между вторым и первым отсчетами дает объем испытуемого образца вместе с сеткой. Чтобы выразить его в миллиметрах, необходимо знать, скольким миллиметрам вытесненной жидкости соответствует одно деление трубы.

3.12. Градуировка волюменометра производится следующим образом: в металлический стакан наливают воду на 1/3 высоты, прибор с водой взвешивают. Затем наливают воду до крайнего верхнего деления и вновь взвешивают. Число в о е значение разности масс в г, полученных при втором и первом взвешиваньи, принимают за объем воды в рабочей части прибора в мл. Разделив этот объем на число делении, приходящееся на верхние 2/3 высоты, получают цену одного деления.

Градуировку прибора заканчивают определением объема пустой сетки. Уровень воды до и после опускания сетки замечают так же, как и при определении объема грунта. Разность показаний на шкале, умноженная на цену деления, будет соответствовать объему сетки.

3.13. Размер волюменометра зависит от размера испы-

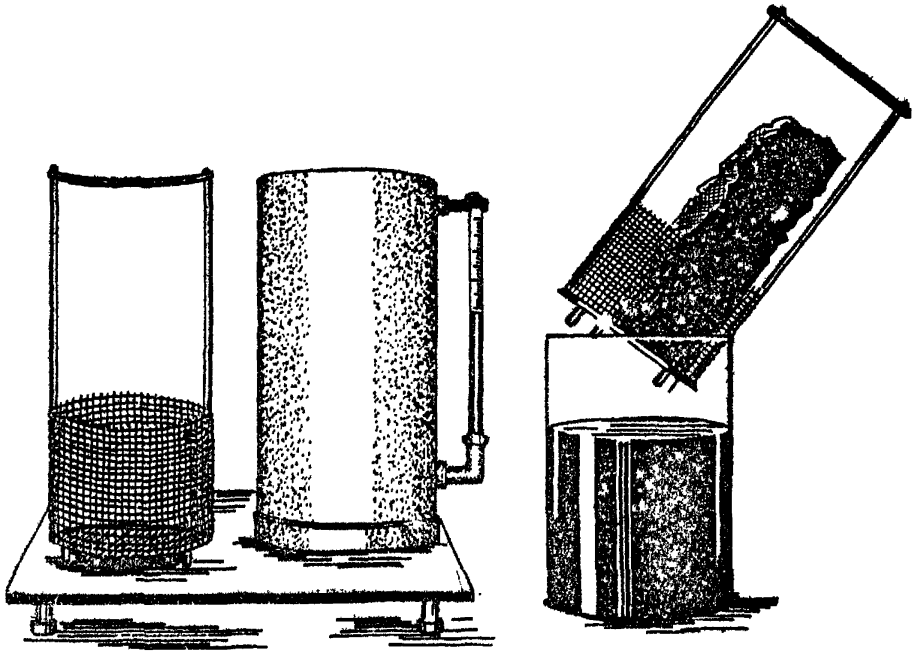


Рис. 6. Волюменометр системы Инсторфа
а – общий вид; б – подготовка образца для определения объемной массы

тываемых образцов грунта.

Минимальный размер рабочего цилиндра может быть: объем 200 $см^3$, диаметр 35 мм, диаметр стеклянной трубки 5 мм.

3.14. Плотность грунта вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{G}{V_T}\ г/см^3,$$

где G – объем образца в г;

V_T – объем образца в $г/см^3$.

Объем образца составляет:

$$V_T = m(n_1 - n_2),$$

где m – цена деления;

n_1 – разность по шкале между вторым и первым отсчетами при погружении образца с сеткой;

n_2 – то же, при погружении пустой сетки.

3.15. Плотностью скелета грунта называется отношение массы твердых частиц или массы абсолютно-сухой породы к массе воды при 4°С, взятой в объеме, равном объему всей породы при данной его пористости.

3.16. Для грунтов, не изменяющих объема при высушивании, не растрескивающихся, плотность скелета может быть определена непосредственным взвешиванием абсолютно-сухого образца.

Вычисление плотности скелета грунта производят по формуле

$$\rho_{ск} = \frac{\rho}{1 + 0{,}01W}\ г/см^3.$$

3.17. Плотность несвязных грунтов (песков) определяется в двух состояниях: рыхлом и плотном. Соответственно плотность в этих случаях имеет минимальное и максимальное значение.

3.18. Плотность несвязных грунтов рыхлого сложения определяется на образцах в воздушно-сухом состоянии с нарушенным сложением путем отсыпки грунта в мерный цилиндр объемом 250 $см^3$, диаметром 5-6 см через воронку с длинным носиком. При отсыпке носик воронки приподнимают над поверхностью грунта на высоту не более 1-2 см. Избыток его с помощью линейки удаляют до уровня края стакана.

Испытание производят не менее чем с 2-кратной повторностью. Расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать 0,02 $г/см^3$.

3.19. Плотность несвязных грунтов (песков) максимально плотного сложения определяют на образцах в воздушно-сухом состоянии с нарушенным сложением в металлическом стакане емкостью 250 $см^3$, диаметром 5-6 см, имеющем насадку

высотой 2 см.

Песок насыпают в стакан небольшими порциями (слой 1–2 см) при постоянном уплотнении, которое достигается постукиванием о боковые стенки стакана деревянным молоточком и трамбованием песка деревянной трамбовкой.

После заполнения стакана утрамбованным песком насадку снимают со стакана, излишки песка срезают линейкой и производят взвешивание металлического стакана с уплотненным песком.

Определение производят не менее чем с 2-кратной повторностью. Расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать 0,02 г/см^3.

3.20. Определение плотности песков нарушенного сложения рекомендуется проводить в рабочем стакане трубки спецгео (КФ-01).

При содержании в песке частиц крупнее 2 мм емкость сосуда должна быть увеличена и составлять не менее 500 см^3 при диаметре 10 см.

Плотность минеральной части грунта

3.21. Плотностью минеральной части грунта $\rho_м$ называется отношение массы твердых частиц G к массе воды при +4°С, взятой в объеме, равном объему частиц-V_S :

$$\rho_м = \frac{G_S}{V_S}\ г/см^3.$$

Плотность минеральной части зависит только от минерального состава грунта и увеличивается с увеличением содержания в грунте тяжелых минералов.

Плотность минеральной части распространенных породообразующих минералов колеблется в небольших пределах (табл.6), поэтому плотность минеральной части рыхлых песчано-глинистых грунтов также изменяется в небольших пределах. Для ориентировочных расчетов можно принимать плотность минеральной части песков равной 2,66, супесей – 2,70, суглинков – 2,71, глин – 2,74.

3.22. Значение плотности минеральной части грунта используется для расчета пористости. Наиболее часто встречающиеся значения $\rho_м$ по Д.Е. Польшину приведены в табл. 7.

3.23. Определение плотности минеральной части грунта производится по ГОСТ 5181–64.

При выполнении определения необходимо учитывать:

1) возможность растворения простых солей в процессе определения, в результате чего получаются заниженные значения плотности. Во избежание этого при определении плотности минеральной части засоленных грунтов вода заменяется нейтральными жидкостями (керосином, бензином и т.п.);

Таблица 6

Плотность минеральной части различных петрографических типов осадочных, магматических и метаморфических пород

Наименование породы	Плотность минеральной части г/см^3			
	от	до	наиболее вероятные значения	
			от	до
Угли	1,25	1,75	-	-
Опока	2,22	2,48	-	-
Мергель	2,37	2,92	2,65	2,80
Алевролит	2,40	3,04	2,63	2,73
Песчаник	2,40	3,20	2,60	2,70
Известняк	2,41	2,98	2,70	2,75
Доломит	2,55	3,19	2,77	2,88
Гранит	2,63	2,75	2,64	2,67
Мел	2,63	2,73	-	-
Аргиллит	2,63	2,86	-	-
Мрамор	2,64	2,82	2,68	2,72
Кварцит	2,65	2,80	2,66	2,70
Доломитовая мука	2,81	2,91	-	-

Таблица 7

Плотность минеральной части дисперсных грунтов различного гранулометрического состава (по Д.Е. Польшину)

Гранулометрические типы	Среднее значение плотности минеральной части, г/см^3	Наиболее часто встречающиеся значения плотности минеральной части, г/мс^3
Пески	2,66	2,65-2,67
Супеси	2,70	2,68-2,72
Суглинки	2,71	2,69-2,73
Глины	2,74	2,71-2,76

2) возможность сильного сжатия слоя воды вокруг коллоидной частицы глины, вызываемого силами притяжения, в результате чего получаются завышенные значения плотности минеральной части. Для предотвращения этого следует применять жидкости с небольшим поверхностным натяжением (толуол, ксилол и т.п.);

3) возможность неполного удаления адсорбированного на поверхности частиц воздуха, в результате чего получаются заниженные значения плотности минеральной части. Во избежание этого определение плотности минеральной части производится с предварительным кипячением грунта или в вакууме (вакуумирование продолжается до окончания выделения пузырьков воздуха из суспензии).

3.24. Плотность минеральной части засоленных грунтов рекомендуется определять также в водной среде по методу, разработанному в Гипроводхозе. Этот метод по технике выполнения значительно проще других, а погрешности сравнительно невелики и могут изменять значения плотности грунта на $\pm$ 0,005 г/см^3, что в пределах допусков по ГОСТ 5181-64.

Определение плотности минеральной части засоленных грунтов по методу Гипроводхоза

3.25. Подготовленный (по ГОСТ 5181-64) для испытания грунт переносят в пикнометр, из расчета 12-15 г грунта на каждые 100 мл емкости пикнометра, и взвешивают.

В пикнометр на 1/2 его емкости наливают дистиллированную воду и кипятят в течение одного часа на песчаной бане, не допуская разбрызгивания суспензии.

По окончании кипячения в пикнометр доливают дистиллированную воду и оставляют до следующего дня.

Одновременно с пикнометром в бутыли емкостью 2-3 л выдерживают при той же температуре дистиллированную воду.

Перед началом взвешивания пикнометр доливают подготовленной дистиллированной водой и закрывают пробкой.

Пикнометр с грунтом и водой взвешивают.

Если грунты засолены и верхняя часть жидкости, заполняющая пикнометр, осветлилась, то с помощью резиновой груши и стеклянного наконечника осторожно отсасывается осветленная жидкость (солевой раствор) и переносится в малый пикнометр. Объем малого пикнометра не должен превышать 60-80% объема основного пикнометра.

Малый пикнометр с осветленной жидкостью взвешивают, после чего жидкость из него выливают, пикнометр ополаскивают и заполняют дистиллированной водой, выдержанной при той же температуре, что и основные пикнометры.

Для выполнения расчета принимаются следующие обозначения:

А - масса грунта в пикнометре;

Б - масса большого пикнометра;

В – масса большого пикнометра с грунтом ;
Г – масса большого пикнометра с водой;
Д – масса большого пикнометра с водой и грунтом;
Е – масса воды в большом пикнометре;
Ж – масса малого пикнометра;
З – масса малого пикнометра с водой;
И – масса малого пикнометра с солевым раствором;
К – масса воды в малом пикнометре.

Определяется масса грунта в пикнометре

$$А = В - Б.$$

Определяется объем воды, вытесненной скелетом $О_г$ грунта

$$О_г = Г + А - Д.$$

Определяется масса дистиллированной воды в большом пикнометре

$$Е = Г - Б.$$

Определяется масса дистиллированной воды в малом пикнометре

$$К = З - Ж.$$

Определяется разница масс малого пикнометра с солевым раствором и дистиллированной водой (Л)

$$Л = И - З.$$

Рассчитывается соотношение объемов большого и малого пикнометров (М)

$$М = \frac{Е}{К}.$$

Определяется масса солей в растворе, находящемся в большом пикнометре (Н)

$$Н = Л \cdot М.$$

Определяется объем растворимых солей, содержащихся в большом пикнометре ($О_с$)

$$О_с = \frac{Н}{2,2},$$

где 2,2 – среднее значение плотности растворимых солей.

Определяется истинный объем грунта, помещенного в большой пикнометр ($О_и$)

$$О_и = О_г + О_с.$$

Вычисляется плотность минеральной части грунта

$$\rho_м = \frac{А}{О_п}$$

Для каждого образца грунта производят два параллельных определения плотности минеральной части. Все взвешивания производят на технических весах Т-200 с точностью 0,01 г.

Расхождение в параллельных определениях допускается

не более 0,02 г/см^3.

3.26. Для упрощения определения плотности минеральной части грунтов методом пикнометра рекомендуется производить испытания без уравнивания температур после кипячения пикнометров с водой и грунтом по методу И.Л. Ревелиса (Даггосуниверситет), изложенному в приложении 13.

3.27. Плотность минеральной части грунтов с содержанием значительного количества слабо разложившихся растительных остатков определяется по ГОСТ 5181-64 (методом пикнометра) со следующей рекомендацией: во избежание разбрызгивания образца во время кипячения вместо пробы воздушно-сухого образца в пикнометр на 1/3 его объема помещают гидромассу, приготовленную из 10-15 г заторфованного грунта или торфа, тщательно перемешанного с небольшим количеством воды (влажность гидромассы определяют перед переносом ее в пикнометр). Для определения массы гидромассы пикнометр с содержимым взвешивают.

Расчет массы сухого вещества заторфованного грун т а или торфа производят, исходя из влажности гидромассы. Далее определение продолжают по известной схеме.

При вакуумировании грунтов разрежение следует создавать постоянно, предотвращая разбрызгивание суспензии.

Пористость грунтов

3.28. Пористостью грунтов называется общий объем пор в единице объема грунта.

Количественно пористость n выражается процентным отношением объема пустот U_n к общему объему грунта U.

Кроме того, пористость грунта может характеризоваться отношением объема пустот U_n к объему твердой фазы U_S, эта величина - коэффициент пористости e.

Величина пористости может быть выражена и по массе (весовая пористость) как отношение массы воды G_w, полностью заполняющей поры грунта, к массе абсолютно-сухого грунта G_S.

3.29. Пористость и коэффициент пористости грунта - величины расчетные и вычисляются по значениям плотности минеральной части и плотности горной породы по формулам, приведенным в табл. 5.

Величина коэффициента пористости используется для выбора расчетных сопротивлений грунтов по СНиП при построении компрессионной кривой, вычислении характеристик сжимаемости и в других случаях.

Для ускорения расчетов e и n применяются таблицы (ЦТИСИЗ) и номограммы (Прихлонского и других).

3.30. Пористость несвязных грунтов (песков) может быть определена непосредственно лабораторным путем - методом насыщения водой песков рыхлого и плотного сложения.

3.31. Определение пористости песков целесообразно произ-

водить одновременно с определением плотности песков рыхлого и плотного сложения после основного определения.

Для этого образцы песка, находящиеся в рыхлом и плотном сложении в цилиндрах, насыщаются водой при помощи бюретки. Количество воды, израсходованное на насыщение песка, будет соответствовать объему его пор U_n. При помощи воды измеряется объем цилиндра, что будет соответствовать объему всего образца.

Пористость рассчитывается по формуле

$$n = \frac{U_n}{U} 100\% ,$$

3.32. Степень влажности грунта (степень заполнения объема пор грунта водой) G, степень относительной плотности песков Д и коэффициент уплотненности песков И - расчетные характеристики физических свойств грунтов определяются по формулам (табл. 5).

3.33. Крупнообломочные и песчаные грунты подразделяются по степени влажности G согласно таблице 4 СНиП П-15-74.

Наименование крупнообломочных и песчаных грунтов по степени влажности	Степень влажности G
Маловлажные	$0 < G \leq 0,5$
Влажные	$0,5 < G \leq 0,5$
Насыщенные водой	$0,8 < G \leq 1$

Пределы пластичности грунтов

3.34. Пластичностью грунтов называется способность их изменять форму (деформироваться) без разрыва сплошности в результате внешнего воздействия и сохранять полученную при деформации новую форму после того, как внешнее воздействие прекращается.

Переход глинистых грунтов из одной формы консистенции в другую происходит при определенных значениях влажности, которые называются пределами.

3.35. Верхним пределом пластичности или границей текучести W_L называется влажность, выраженная в долях единицы, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее.

3.36. Нижним пределом пластичности или границей раскатывания W_p называется влажность, выраженная в долях единицы, при которой грунт переходит из пластичного состояния в твердое.

3.37. Числом пластичности Ip называется разность между значениями влажности при верхнем и нижнем пределах пластичности.

3.38. Пределы пластичности и число пластичности используются при установлении номенклатуры грунта и определении расчетных сопротивлений по СНиП, а также позволяют устанавливать различные показатели, характеризующие гидрофильность глинистой фракции, ее коллоидную активность и т.д.

3.39. По числу пластичности глинистые грунты согласно таблице 6 СНиП П-15-74 подразделяются следующим образом:

супесь . . . . . $0{,}01 \leqslant I_p \leqslant 0{,}17$

суглинок . . . . . $0{,}07 < I_p \leqslant 0{,}17$

глина . . . . . $I_p > 0{,}17$

3.40. Определение границы раскатывания производится по ГОСТ 5183-64.

3.41. Определение границы текучести производится по ГОСТ 5184-64.

3.42. Для торфов и заторфованных грунтов пределы пластичности не определяются. В этом случае номенклатура заторфованных грунтов и торфов устанавливается по степени разложения органических веществ (ГОСТ 10650-65), по зольности и ботаническому составу.

Зольность торфов определяется по ГОСТ 7302-61, ботанический состав - по специальной методике.

3.43. Кроме указанных в п.п. 3.40 и 3.41, методов определения пределов пластичности, существуют и другие: методы Аттерберга и Казагранде для определения верхнего предела пластичности, метод прессования, конусный.

Однако, несмотря на некоторые преимущества упомянутых методов, основными для установления номенклатуры грунта по СНиП П-15-74 являются методы по ГОСТ 5183 и 5184-64.

3.44. Консистенцией грунтов называется степень подвижности слагающих грунт частиц при механическом воздействии на них. Форма консистенции глинистых грунтов определяет их несущие свойства и поведение под сооружением.

3.45. Глинистые грунты различаются по показателю консистенции I_L согласно таблице 7 СНиП П-15-74.

Наименование глинистых грунтов по показателю консистенции	Показатель консистенции I_L
Супеси:	
твердые	$I_L < 0$
пластичные	$0 \leqslant I_L \leqslant 1$
текучие	$I_L > 1$
Суглинки и глины:	
твердые	$I_L < 0$
полутвердые	$0 \leqslant I_L \leqslant 0{,}25$

Наименование глинистых грунтов по показателю консистенции	Показатель консистенции I_L
тугопластичные	$0,25 < I_L \leq 0,50$
мягкопластичные	$0,50 < I_L \leq 0,75$
текучепластичные	$0,75 < I_L \leq 1$
текучие	$I_L > 1$

Показатель консистенции определяется по формуле

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p},$$

где W – природная влажность грунта, выраженная в долях единицы;

W_L – влажность на границе текучести, выраженная в долях единицы;

W_p – влажность на границе раскатывания, выраженная в долях единицы.

3.46. Для оценки естественной консистенции глинистых грунтов существуют методы раздавливания (Д.Бурмейстера), вдавливания в грунт иглы (пенетрация) и штампов, погружения в грунт конуса Ребиндера (пластометра), но все они дают только сравнительную оценку консистенции и не нашли широкого применения.

Оптимальная влажность и максимальная плотность сложения песчаных и глинистых грунтов

3.47. При проектировании и строительстве земляных сооружений из песчаных и глинистых грунтов бывает необходимо обеспечить наибольшую их устойчивость и прочность.

Последнее достигается уплотнением грунтов (укаткой, трамбованием, виброуплотнением) до максимальной плотности при оптимальной влажности.

3.48. Наибольшая плотность грунтов (характеризуется плотностью скелета) получается при затрате стандартной работы на его уплотнение и называется максимальной $\rho_{ск\,max}$. Влажность грунта, соответствующая максимальной плотности, называется оптимальной $W_{опт}$.

3.49. В лабораторных условиях определение максимальной плотности скелета и оптимальной влажности грунта производится методом стандартного уплотнения образцов грунта с применением приборов СоюздорНИИ или ЦНИИС (рис.7 и 8).

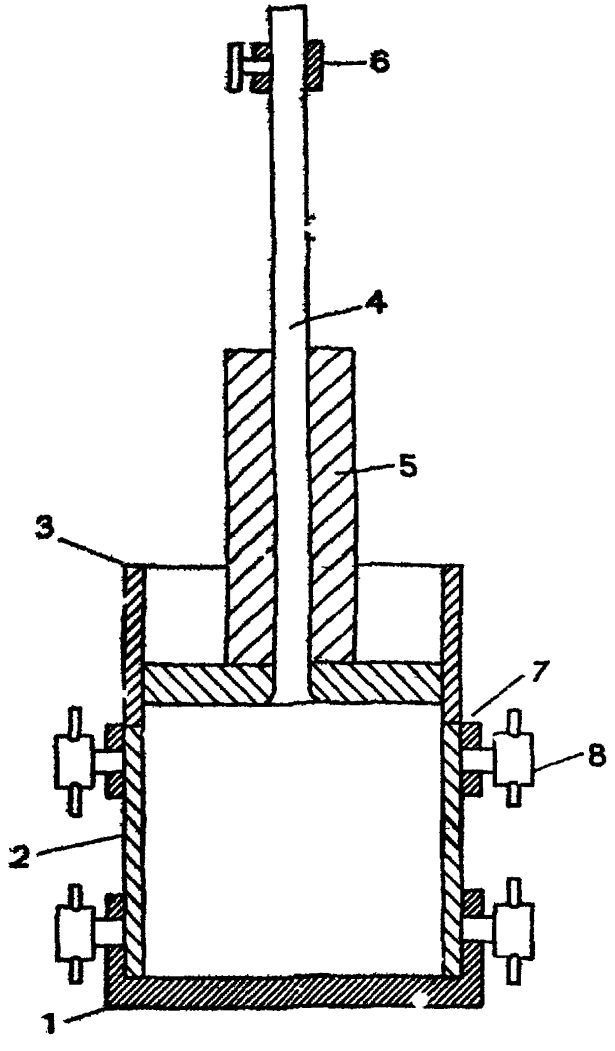


Рис. 7. Прибор СоюздорНИИ для стандартного уплотнения

1 – подстаканник; 2 – разъемный цилиндр; 3 – верхний стакан; 4 – стойка с уплотнителем; 5 – груз; 6 – ограничительное кольцо, 7 – зажимное кольцо; 8 – зажимной винт

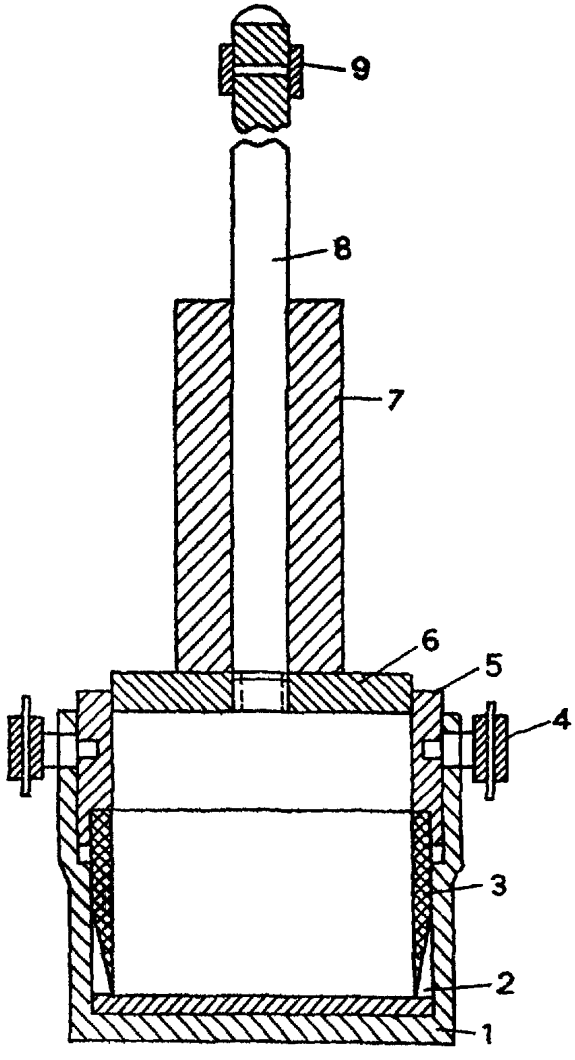


Рис. 8 Прибор ЦНИИС для стандартного уплотнения

1 – подстаканник; 2 – металлическая пластика; 3 – кольцо; 4 – зажим; 5 – насадка; 6 – штамп; 7 – гиря; 8 – стержень; 9 – ограничительное кольцо

3.50. В табл. 8 содержится характеристика приборов СоюздорНИИ и ЦНИИС для определения плотности скелета грунта методом стандартного уплотнения грунта.

Таблица 8

Основные параметры приборов и способы уплотнения	Прибор конструкции	
	СоюздорНИИ	ЦНИИС
Цилиндр или кольцо для размещения образцов уплотняемого грунта:		
диаметр в мм	100	70
высота в мм	127	52
Масса груза в кг	2,5	2,5
Масса вертикальной стойки со штампом в кг	1,3–1,4	1,9
Высота падения груза в мм	300	300
Количество слоев, на которые разделяется образец грунта при уплотнении ударами груза	3	1
Количество ударов на каждый слой при уплотнении:		
песков и супесей	25	20
пылеватых супесей и суглинков и глин	40	20
жирных глин	50	-

3.51. Прибор СоюздорНИИ применяется для уплотнения грунтов с содержанием частиц размером более 5 мм до 5%, прибор ЦНИИС – для уплотнения грунтов с содержанием частиц размером более 2 мм до 5%.

3.52. Определение производят следующим образом: образец грунта массой 3,5 кг в воздушно-сухом состоянии размельчается и просеивается через сито с отверстиями 5 мм (для прибора СоюздорНИИ) или 2 мм (для прибора ЦНИИС); грунт, прошедший через сито, увлажняется до требуемой влажности, перемешивается, закладывается в цилиндр или кольцо прибора и уплотняется.

Примечание. Образец грунта уплотняется 4–6 раз при систематически увеличиваемой влажности. Уплотнение целесообразно начинать при влажности несколько большей, чем влажность грунта в воздушно-сухом состоянии, но не менее чем на 0,08–0,10 отличающейся от оптимальной, ориентировочно равной: для песков 0,08–0,13, супеси 0,09–0,15, суглинков 0,12–0,22, глин 0,16–0,26.

Количество воды Q, необходимое для получения требуемой влажности грунта, определяют по формуле $Q = P(W_{mp} - W_{н})$, где P – масса грунта, подлежащего уплотнению, в г;

$W_{тр}$ и $W_н$ – влажность соответственно требуемая и начальная в долях единицы.

Подготовленный грунт насыпают в прибор СоюздорНИИ примерно на 1/2 высоты. Уплотнение выполняется в три слоя. Каждый из слоев уплотняется ударами груза массой 2,5 кг, падающего с высоты 300 мм. Количество ударов назначается в зависимости от вида грунта (см.табл. 6).

При использовании прибора ЦНИИС ударами падающего груза уплотняется одновременно весь образец грунта, укладываемый в кольцо и насадку пятью слоями, с уплотнением каждого слоя вручную пестиком.

После уплотнения верхний стакан в приборе СоюздорНИИ снимают (в приборе ЦНИИС снимают насадку), а выступающий грунт осторожно срезают ножом по верхней кромке разъемного цилиндра или кольца.

Разъемный цилиндр с подстаканником, зажимным кольцом и уплотненным грунтом в приборе СоюздорНИИ или кольцо с уплотненным грунтом в приборе ЦНИИС взвешивают с точностью до 1 г.

Плотность уплотненного грунта $\rho_{уп}$ г/см^3 определяют по формуле

$$\rho_{уп} = \frac{P_1 - P_2}{V},$$

где P_1 – общая масса разъемного цилиндра или кольца с уплотненным грунтом в г;

P_2 – масса пустого цилиндра или кольца в см^3;

V – объем разъемного цилиндра или кольца в см^3.

Из уплотненного грунта после взвешивания отбирается проба на влажность по 15–20 г из верхней, средней и нижней частей образца.

Следующий опыт начинают с размельчения уплотненного в предыдущем опыте образца грунта и увеличения его влажности на 0,02–0,03 путем добавления 50–70 г воды на 3 кг грунта. Грунт тщательно перемешивают и вновь подвергают уплотнению указанным выше способом, но при более высокой влажности. Испытания проводят до тех пор, пока плотность влажного грунта не станет уменьшаться при увеличении его влажности.

3.53. После испытаний и определения влажности по плотности сырого грунта находят плотность его скелета.

Плотность скелета $\rho_{ск}$, г/см^3 вычисляют по формуле

$$\rho_{ск} = \frac{\rho}{1 + W},$$

где ρ, W – соответственно плотность в г/см^3 и влажность по массе уплотненного грунта.

3.54. По полученным данным строится кривая стандартного уплотнения (рис. 9), а по ней определяется максимальная плотность скелета грунта и соответствующая ей оптимальная влажность.

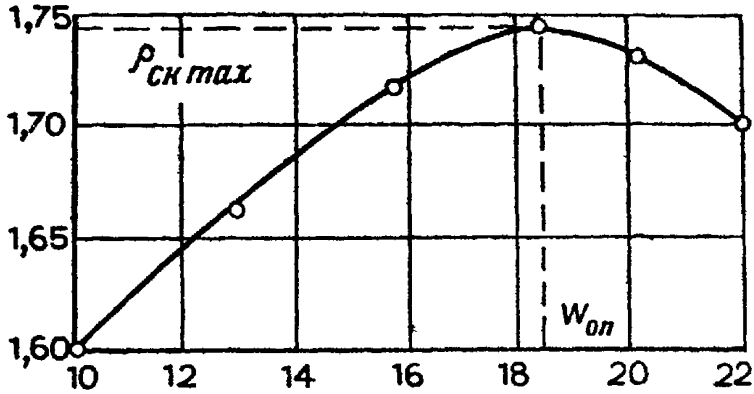


Рис. 9. Кривая стандартного уплотнения

3.55. Если грунт содержит 5-40% частиц крупнообломочных пород диаметром крупнее 5 мм, то определение максимальной стандартной плотности скелета грунта производят методом стандартного уплотнения. Для этого берут образец массой 5 кг, высушивают, измельчают и просеивают через сито 5 мм. Из грунта, прошедшего через сито, берут 3 кг грунта и производят испытание способом, описанным выше.

3.56. Для учета влияния на грунт включений диаметром более 5 мм в полученное значение величин максимальной плотности скелета грунта и оптимальной влажности вводят поправочные коэффициенты, значения которых в зависимости от процентного содержания частиц крупнее 5 мм принимают по табл. 9.

Таблица 9

Значение поправочных коэффициентов

Процентное содержание частиц крупнее 5 мм	Поправочные коэффициенты	
	K_ρ (к максимальной стандартной плотности скелета грунта)	K_ω (к оптимальной влажности)
5	1,02	0,95
10	1,04	0,90
15	1,06	0,85
20	1,08	0,80
25	1,10	0,75
30	1,13	0,70
40	1,15	0,65

3.57. Содержание в грунте частиц крупнее 5 мм определяют по массе отсева.

3.58. Максимальную плотность скелета и оптимальную влажность крупнообломочных грунтов определяют по формулам:

$$\rho'_{ск\,max} = \rho_{ск\,max} \cdot K_\rho ; \quad W'_0 = W_0 \cdot K_\omega ,$$

где $\rho_{ск\,max}$, W_{on} – соответственно максимальная стандартная плотность скелета в кг/м^3 и оптимальная влажность отсеянного грунта;

K_ρ, K_ω – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние наличия крупных частиц соответственно на плотность скелета и влажность грунта, принимаемые по табл. 9

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Размокание глинистых грунтов

4.1. Размокаемость грунтов характеризуется скоростью и характером их размокания в воде и является одним из показателей водоустойчивости грунта.

В зависимости от целей исследований размокаемость грунтов определяют на образцах с ненарушенным сложением или на образцах с определенной плотностью и влажностью.

Вода для анализа применяется или дистиллированная, или грунтовая, взятая на месте отбора проб.

Испытания на размокание проводят в приборах ПРГ (рис.10).

Возможно проведение испытания в стеклянных кристаллизаторах, оборудованных сеткой с диаметром отверстий 1 см^2.

4.2. Ход испытаний. Для испытаний из монолита грунта режущим кольцом вырезают образец грунта диаметром 3 см или вырезают куб грунта с размерами граней 3 см x 3 см x 3 см

Одновременно из монолита отбирают пробу грунта для определения его естественной влажности.

В случае испытаний грунтов с нарушенной структурой грунт просеивают через сито с отверстиями в 5 мм, замешивают грунтовое тесто с водой и уплотняют до заданной плотности и влажности.

Все изменения грунта как количественные, так и качественные заносят в журнал. Числовые отметки фиксируют через определенные промежутки времени (1, 30, 60 мин; 6, 24 ч и т.д.). Опыт считают законченным, когда грунт полностью провалится сквозь сетку.

С помощью прибора можно получить числовую характеристику скорости размокания грунта под водой, а также кривую зависимости величины размокания от времени. Для этого

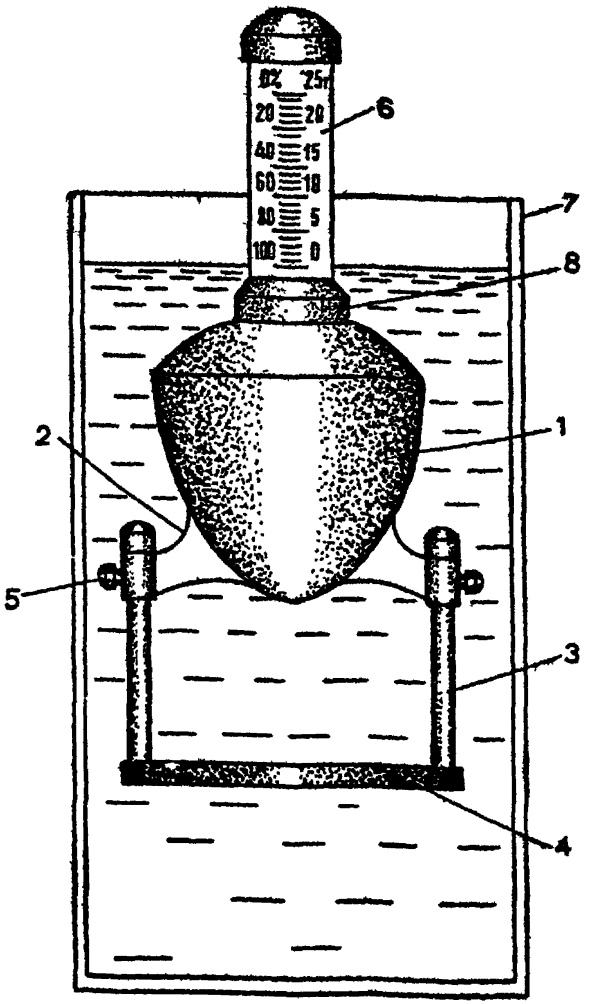


Рис. 10. Прибор ПРГ для определе..ия размокаемости

Наблюдения за скоростью размокания проводят через интервалы времени 5, 10, 30 минут; 1, 6, 24 и 48 часов

по оси абсцисс откладывают время,а по оси ординат - числовые данные.Процент размокания определяют по формуле:

$$P = \frac{H - Hp}{H},$$

где P – размокание грунта, %;
H – начальная числовая отметка;
Hp – числовая отметка в процессе размокания.

Оценку скорости размокания проводят по табл. 10

Таблица 10

Время размокания образца	Характеристика размокания
Полностью за 1 мин	Мгновенное
Более 80–90% объема за 30 мин	Очень быстрое
Более 50% объема за 1 ч.	Быстрое
Менее 50% объема за 6 ч.	Медленное
Менее 25% объема за 24 ч.	Очень медленное
Менее 10% объема за 48 ч.	Практически неразмокающий грунт

Набухание глинистых грунтов

4.3. К набухающим грунтам относятся глинистые грунты, которые при замачивании водой или химическими растворами увеличиваются в объеме, и при этом величина относительного набухания в условиях свободного набухания (без нагрузки) $\delta_н \geqslant 0{,}04$ (СНиП II-15-74). Набухание присуще глинистым грунтам и зависит главным образом от их состава (гранулометрического и химико-минерального) и характера связей между частицами.

4.4. При исследовании оснований сооружений, сложенных набухающими грунтами, в лабораторных условиях необходимо определение следующих характеристик:

величины давления набухания $P_н$;

величины относительного набухания от давления $\delta_н = f(P_н)$;

величины свободного относительного набухания $\delta_в$;

влажности набухания $W_н$.

Давление набухания и относительное набухание от нагрузок определяют в компрессионных приборах (см. раздел 6).

Свободное набухание грунтов определяют в приборах ПНГ не менее чем на шести образцах, отобранных из одного инженерно-геологического слоя.

4.5. Прибор ПНГ выпускается заводом "Нефтеавтоматика".

Прибор (рис.11) состоит из следующих деталей: рабочего кольца, высотой 10 мм (5), направляющего кольца (4), ванночки (9), дырчатого поршня (3), в который вставляется ножка индикатора.

4.6. Ход испытаний. Рабочим кольцом с насадкой вырезают пробу грунта из монолита. Направляющее кольцо снимают, грунт зачищают с обеих сторон заподлицо, на поверхность грунта накладывают влажные бумажные фильтры.

На рабочее кольцо с грунтом надевают направляющее кольцо. На грунт помещают дырчатый поршень, в углубление которого устанавливают индикатор.

Собранный прибор помещают в ванночку, которая заполняется водой так, чтобы ее уровень не превышал высоту грунта.

После подачи воды записывают показания индикатора через 5, 30, 60 мин, через каждый час в течение 6 часов, на следующие сутки два раза, затем один раз.

Испытание считается законченным, если показания индикатора в течение суток изменились не более чем на 0,05 мм.

4.7. Величину свободного набухания δ_0 определяют на образцах с ненарушенной структурой, а также на образцах с нарушенной структурой - при строительстве на искусственных грунтах (насыпных и намывных).

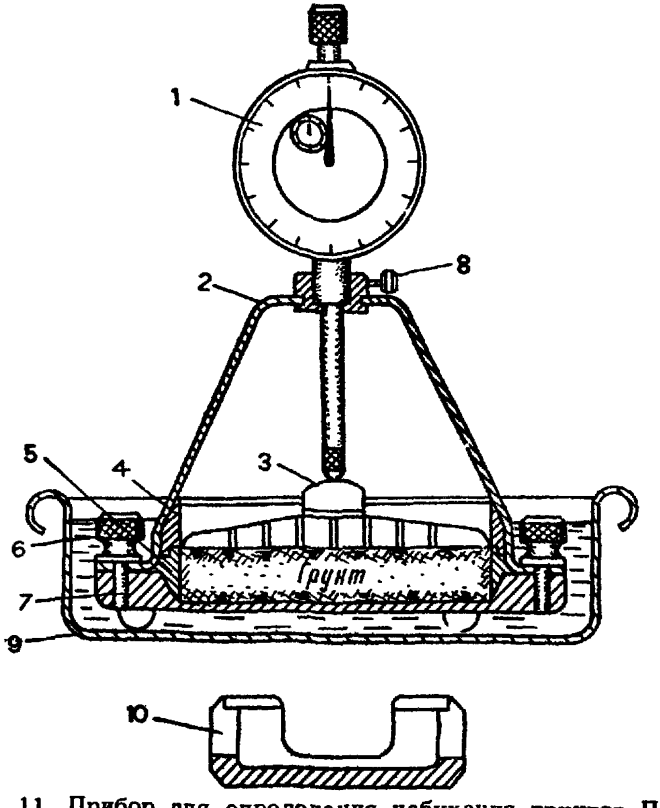


Рис. 11. Прибор для определения набухания грунтов ПНГ

Воду для проведения опытов в зависимости от задания, применяют водопроводную или дистиллированную.

При ожидаемом изменении гидрогеологических условий используют водный раствор или воду, близкую по составу к измененным условиям.

4.8. Обработка результатов. Величину свободного набухания рассчитывают по формуле

$$\delta_н = \frac{\Delta h}{h},$$

где Δh – приращение высоты образца по показаниям индикатора (разность между последним и нулевым отсчетами), мм;

h – начальная высота образца, равная высоте кольца, мм.

4.9. Величина свободного набухания, определенная в приборе ПНГ, используется с учетом коэффициента перехода от прибора ПНГ к компрессионному прибору, т.е. $\delta_{компр} \approx 0{,}6\,\delta_0$.

4.10. Влажность набухания $W_н$ является влажностью грунта, соответствующей максимальной величине набухания.

Для определения влажности набухания проба отбирается после окончания опыта, влажность определяется обычным весовым способом, согласно ГОСТ 5180-75.

4.11. Классификация грунтов по величине свободного относительного набухания, определенной на образцах с ненарушенной структурой, приведена в табл. 11.

Таблица 11

Вид грунта	Величина свободного относительного набухания	
	в компрессионных приборах	в приборах ПНГ
Ненабухающие	$\delta_0 < 0{,}04$	$\delta_0 < 0{,}07$
Слабонабухающие	$0{,}04 \leq \delta_0 < 0{,}08$	$0{,}07 \leq \delta_0 < 0{,}13$
Средненабухающие	$0{,}08 \leq \delta_0 < 0{,}12$	$0{,}13 \leq \delta_0 < 0{,}20$
Сильнонабухающие	$0{,}12 \leq \delta_0$	$0{,}20 \leq \delta_0$

Усадка глинистых грунтов

4.12. Усадкой глинистых грунтов называется уменьшение их объема при высыхании.

4.13. Усадка грунтов характеризуется двумя показателями – величиной усадки и пределом усадки.

Под пределом усадки понимается влажность грунта, при которой дальнейшее уменьшение объема грунта не происходит.

4.14. Испытания на усадку проводят на образцах с ненарушенной структурой и нарушенной структурой в зависимости от задания.

В случае определения усадки на образцах с нарушенной структурой воздушно-сухой грунт просеивают сквозь сито с отверстиями в 1 мм, замачивают водой до влажности, равной границе текучести, и помещают на одни сутки в эксикатор с водой.

4.15. Испытания на усадку проводят в цилиндрах, институтом НИИ оснований рекомендуется усадку определять в приборах набухания ПНГ.

4.16. Ход испытаний. Рабочее кольцо смазывают вазелином и заполняют либо подготовленным грунтом нарушенной структуры, либо вырезают кольцо из монолита.

Прибор собирают, устанавливают индикатор.

Показания индикатора записывают один раз в сутки.

Опыт считается законченным, когда показания индикатора перестанут изменяться.

До начала испытаний и после испытаний у образцов определяют их объем.

У высушенных образцов для определения объема измеряют штангенциркулем верхний и нижний диаметры образца и высоту.

4.17. Обработка результатов. Различается линейная усадка и объемная.

Линейная усадка рассчитывается по формуле

$$\delta_y = \frac{l_н - l_к}{l_н},$$

где $l_н$ – начальная длина образца;

$l_к$ – длина высушенного образца.

Объемная усадка рассчитывается по формуле

$$\delta_v = \frac{V_н - V_к}{V_н},$$

где $V_н$ – объем режущего цилиндра;

$V_к$ – объем высушенного образца.

4.18. Для определения предела усадки необходимо знать начальную влажность, массу грунта после усадки и изменение объема грунта, т.е.

$$W_y = W_н - \frac{(V_н - V_к)}{g},$$

где $W_н$ – начальная влажность образца;

g – масса грунта после усадки;

$V_н - V_к$ – начальный и конечный объем грунтов.

Для расчетов деформации основания при усадке глинистого грунта необходимо знать величину усадки образца под нагрузкой.

Усадку образца под нагрузкой определяют в компрессионных приборах, для этого используют специальные сменные детали - дно с отверстиями 1,5-1,7 мм и сменный штамп с такими же отверстиями.

Методика испытаний аналогична испытаниям в приборах ПНГ.

Полная влагоемкость грунтов

4.19. Полной влагоемкостью $W_п$ называется максимальное количество воды, заключенное в грунте при полном насыщении его водой.

Для грунтов, не набухающих в воде, полная влагоемкость равна максимальной влажности при данной пористости.

Для набухающих грунтов величина их полной влагоемкости равняется влажности набухания при свободном набухании.

4.20. Полная влагоемкость ненабухающих грунтов вычисляется по данным плотности скелета $\rho_{ск}$ и плотности минеральной части $\rho_м$:

$$W_п = \frac{1}{\rho_{ск}} - \frac{1}{\rho_м},$$

или, если плотность скелета выразить через плотность минеральной части $\rho_м$ и пористость грунта n, формула примет вид

$$W_п = \frac{n}{\rho_м (1-n)}.$$

4.21. Полная влагоемкость песчаных грунтов определяется методом насыщения.

Максимальная молекулярная влагоемкость песчаных и глинистых грунтов

4.22. Максимальной молекулярной влагоемкостью грунта W_m называется максимальное количество гигроскопической и пленочной воды, удерживаемое частицами грунта.

4.23. Для определения максимальной молекулярной влагоемкости применяется метод влагоемких сред для глинистых грунтов и высоких колонн для песчаных грунтов.

4.24. Максимальную молекулярную влагоемкость глинистых грунтов рекомендуется определять на образцах с естественной влажностью.

4.25. Подготовка грунта. Грунт с естественной влажностью ~100 г разминают шпателем, удаляют включения, растительные остатки и протирают через сито с диаметром отверстий 1 мм или натирают на терке с отверстием 1 мм.

Подготовленный грунт помещают в фарфоровую чашку, замачивают дистиллированной водой, растирают и оставляют на сутки в эксикаторе с водой.

После размокания грунт тщательно перемешивают.

4.26. Для определения максимальной молекулярной влагоемкости методом влагоемких сред пользуются шабло-

нами. Для глин и суглинков берутся шаблоны толщиной 2 мм, для супесей – 1 мм.

4.27. Ход испытаний. Берут 20 листов фильтровальной бумаги, на них помещают шаблон, который заполняют подготовленным грунтом, грунт выравнивают вровень с шаблоном, затем шаблон снимают, грунт прикрывают другими двадцатью листами фильтровальной бумаги.

Грунт вместе с фильтровальной бумагой помещают между двумя пластинками и кладут под пресс.

Прессование ведется в течение 10 мин, давление принимается равным 65,5 кг/см^2.

4.28. После прессования определяют влажность грунта, которая должна соответствовать максимальной молекулярной влагоемкости грунта.

4.29. Испытания проводят на двух параллельных образцах, расхождение между ними не должно превышать 2%

4.30. Определение максимальной молекулярной влагоемкости песчаных грунтов проводят методом высоких колонн.

Испытание выполняют в специальном приборе (рис.12), состоящем из металлического или стеклянного цилиндра диаметром 3–4 см, высотой 100 см, в дно которого впаяна небольшая трубка с сеткой, сбоку цилиндр имеет отверстия на расстоянии 10 см друг от друга.

4.31. Ход испытаний. Цилиндр наполняют песком с утрамбовкой

Боковые отверстия закрывают резиновыми пробками, в цилиндр снизу из напорного бака подается вода, промачивание песка ведется до тех пор, пока на поверхности не появится небольшой слой воды.

Снимают резиновую трубку, гравитационная вода свободно стекает из прибора.

Из каждого бокового отверстия берут грунт для определения влажности.

По полученным данным выделяется зона постоянной влажности, в которой влажность колеблется в пределах тысячных долей единицы. Эта влажность является максимальной молекулярной.

Водопроницаемость грунтов

4.32. Водопроницаемость грунтов характеризуется коэффициентом фильтрации, который представляет собой скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице, и имеет размерность сантиметр в секунду (см/с) или метр в сутки (м/сутки).

4.33. В лабораторных условиях коэффициент фильтрации согласно заданию определяют на грунтах с ненарушенной и нарушенной структурой с учетом и без учета влияния нагрузок, а также расчетным методом. При лабораторном определении $K_ф$ грунтов следует учитывать, что эта величина по-

лучается приближенной по сравнению с полевыми испытаниями, ввиду небольших размеров образцов и сложности учета инженерно-геологических условий.

4.34. Испытания могут проводиться как в условиях установившегося, так и неустановившегося движения потока.

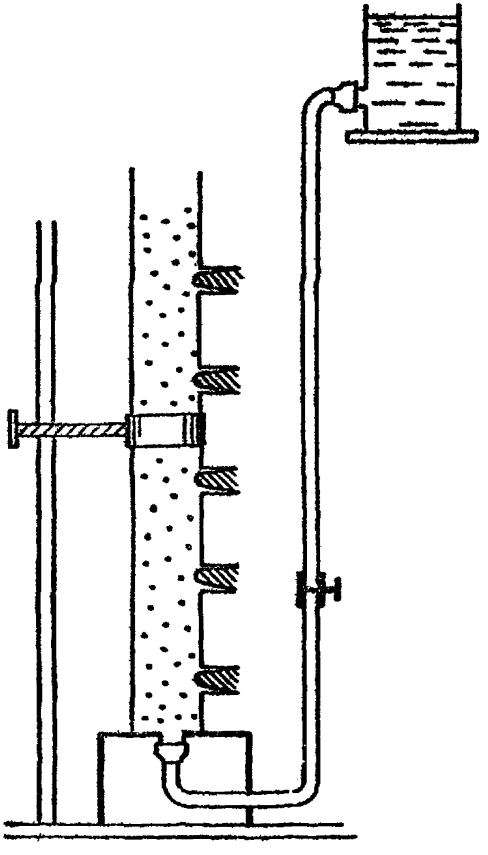


Рис. 12. Прибор для определения максимальной молекулярной влагоемкости песков

Условия установившегося движения потока создаются за счет постоянства величины напорного градиента в течение всего испытания. В этих условиях обычно определяется коэффициент фильтрации песчаных грунтов.

Условия неустановившегося движения потока создаются за счет переменного напорного градиента. В этих условиях определяется коэффициент фильтрации связных грунтов.

Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов

4.35. Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов в основном производится в фильтрационных универсальных трубках КФ-01, КФ3, выпускаемых серийно заводом "Нефтеавтоматика" (рис. 13).

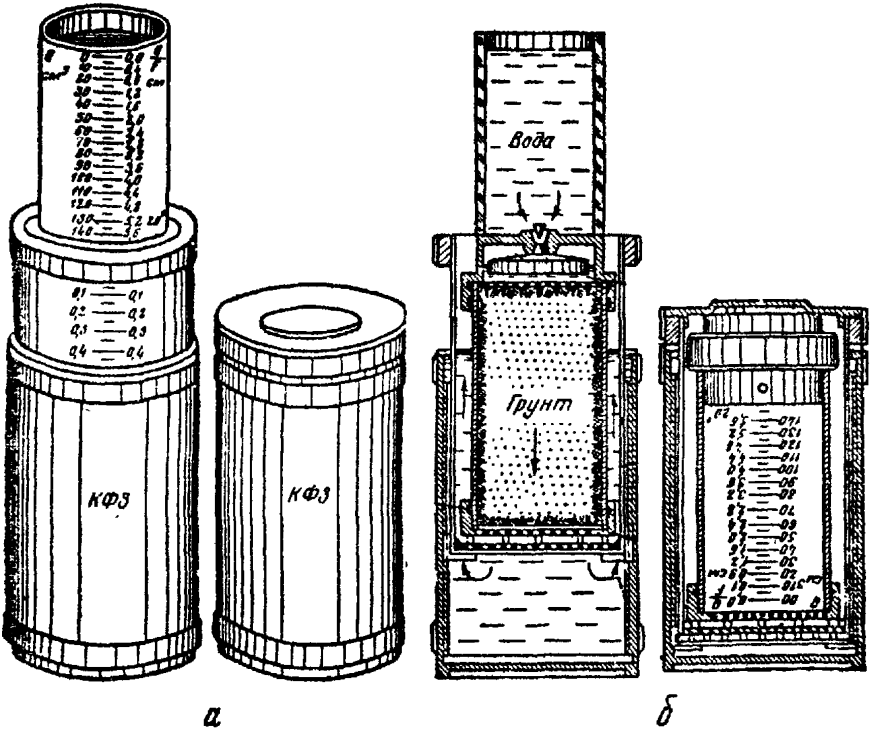


Рис. 13. Универсальный фильтрационный прибор КФ3
а - общий вид; б - прибор в разрезе

4.36. Конструкция прибора КФ-01 позволяет определить коэффициент фильтрации грунтов с ненарушенной и нарушенной структурой при постоянном напорном градиенте, равном единице.

Прибор КФ3 снабжен специальным приспособлением, позволяющим производить опыты при различных напорных градиентах.

4.37. Перед началом испытаний песчаные грунты с большим количеством включений просеивают через сито с диаметром отверстий 2 мм.

При испытании тонкозернистых песков на дно трубки засыпают буферный слой песка из фракции 0,5-0,25 мм высотой

1,0–1,5 см.

4.38. Прибор КФ–01 состоит из металлического цилиндра с заостренными краями, на нижнюю часть которого надевается дно, на верхнюю – муфта, в дно и муфту вставляются латунные сетки. На муфту устанавливается стеклянный баллон со шкалой.

Прибор КФ3 состоит из металлического цилиндра и специального винтового телескопического приспособления, которое служит для насыщения грунта водой и регулирования напора. Одновременно это приспособление является футляром прибора.

4.39. Ход испытаний. В металлический цилиндр засыпают песок слоями в 1–2 см легким постукиванием.

Определяют плотность грунта по объему цилиндра и массе грунта, а также естественную влажность, рассчитывают пористость.

В ведомости отмечают, при какой пористости сделан $K_ф$ песков.

При отсутствии специального задания коэффициент фильтрации песков определяется при самом плотном и рыхлом сложении. В первом случае песок в цилиндре максимально утрамбовывают, во втором – песок засыпают в цилиндр без утрамбовки.

Перед тем как начать фильтрацию, цилиндр с испытуемым грунтом ставят в сосуд с водой до полного промачивания грунта. Стеклянный баллон прибора заполняют водой, опрокидывают и укрепляют в верхней крышке цилиндра так, чтобы его горлышко отстояло от поверхности грунта в цилиндре приблизительно на 0,5–1 мм.

В таком виде мерный баллон автоматически поддерживает над образцом постоянный уровень воды.

Необходимо добиться, чтобы в цилиндр вследствие просачивания воды через образец поднимались только мелкие пузырьки воздуха.

После достижения указанного режима на шкале баллона отмечают уровень воды, пускают секундомер и через каждые 10 мл отмечают время.

Для получения средней величины коэффициента фильтрации повторяют замеры расхода воды при различных уровнях воды в мерном баллоне за время t .

4.40. Обработка результатов. Расчет коэффициента фильтрации производится по формуле

$$K_{10} = \frac{864 \cdot Q}{F \cdot t \cdot r} \text{ м/сутки,}$$

где K_{10} – коэффициент фильтрации при $t°$–10°С;

F – площадь поперечного сечения трубки, $см^2$;

Q – расход воды, мл;

t – время, с;

r – $(0,7+0,03t^{\circ})$ – температурная поправка;

t° – температуре воды;

864 – переводной коэффициент для перевода см/с в м/сутки.

4.41. Для сокращения времени расчета коэффициента фильтрации в табл. 12 даются расчетные данные для постоянного расхода воды Q, равного 10 мл, и определенной площади поперечного сечения баллона ($F = 25$ см^2) в интервале температур от 10 до 30°С.

Для нахождения K_{10} замеряют температуру воды t°, наливаемой в мерный баллон, отмечают время в секундах, в течение которого фильтруется 10 мл воды, находят по табл. 12 цифру K_1, которая соответствует замеренной температуре, найденное значение K_1 делят на полученное время фильтрации.

Таблица 12

№ п/п	t°	K_1
1	10	345,6
2	11	335,5
3	12	325,9
4	13	317,0
5	14	308,6
6	15	300,4
7	16	292,9
8	17	285,6
9	18	278,6
10	19	272,1
11	20	265,8
12	21	259,8
13	22	254,1
14	23	248,6
15	24	243,4
16	25	238,3
17	26	233,5
18	27	228,8
19	28	224,3
20	29	220,1
21	30	215,9

Определение коэффициента фильтрации связных грунтов

4.42. Для определения коэффициента фильтрации супесей и легких суглинков может служить прибор Ф-01 и КФЗ. В этом случае образец вырезают из монолита цилиндром с заостренным краем. Цилиндр с грунтом помещают в сосуд с водой для замачивания грунта.

Прибор собирают, испытания ведут аналогично песчаным грунтам (пункт 4.38).

4.43. Для определения коэффициента фильтрации глинистых грунтов применяются фильтрационные приборы марки Ф-1М (рис. 14), выпускаемые серийно заводом "Нефтеавтоматика", а также компрессионно-фильтрационные приборы.

4.44. В приборе Ф-1М производится определение коэффициента фильтрации при различных напорных градиентах, а также для грунтов, находящихся под нагрузкой.

Прибор состоит из одометра и двух пьезометрических трубок, с помощью которых в приборе создается напор воды и фиксируется расход профильтровавшейся воды.

Одометр состоит из набора колец высотой 30 и 40 мм.

4.45. Ход испытаний. Из монолита с помощью насадки вырезают кольцо.

Одновременно отбирают пробу на влажность.

Насадку снимают, кольцо с грунтом взвешивают для определения плотности.

На нижнюю и верхнюю поверхности грунта накладывают смоченную фильтровальную бумагу, вырезанную по диаметру образца.

Кольцо с грунтом устанавливают на перфорированный диск одометра. В зазор между кольцом и корпусом одометра закладывают резиновую прокладку и надевают прижимное кольцо, прокладка прижимается кольцом при завинчивании нижней гайки.

Сверху на кольцо с грунтом устанавливают перфорированный диск и крышку.

Винт-арретир завинчивают до упора, укрепляют индикатор.

Сосуд с водой устанавливают не ниже верхних концов пьезометрических трубок и соединяют резиновым шлангом с краном основания одометра.

Левая трубка пьезометра соединяется шлангом с краном в крышке одометра, правая трубка - с краном основания одометре.

Открывают оба крана в основании одометра. При появлении воды в правой трубке соединенный с ней кран закрывают.

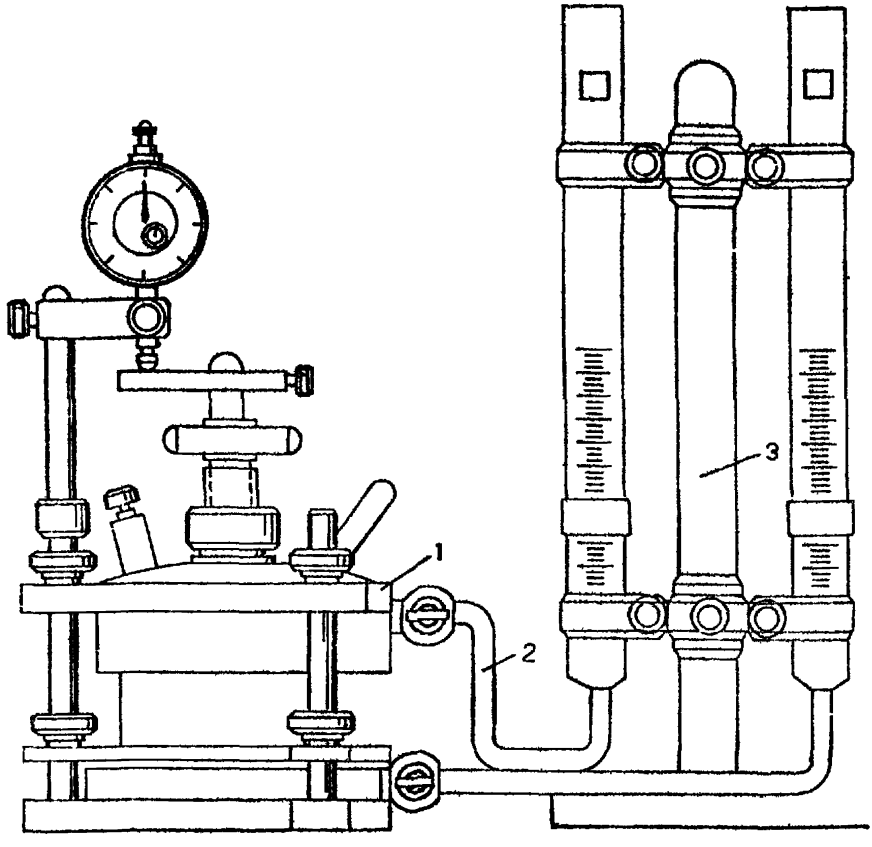


Рис. 14. Фильтрационный прибор Ф-1М
1 - одометр; 2 - подводящие трубки; 3 - пьезометр

Открывают клапан крышки для удаления воздуха. Когда вода начнет выливаться, клапан закрывают.

Вода подается в нижнюю часть одометра пока не произойдет полного водонасыщения грунта, т.е. пока не появится в кране с изогнутым штуцером, после этого кран закрывают.

4.46. После насыщения грунта водой приступают к испытаниям.

Для увеличения разности напоров в пьезометре правую трубку поднимают выше левой.

Кран, из которого подавалась вода из сосуда, закрывается, открываются два других крана, уровень воды в правой трубке понижается, в левой повышается, отмечается время по секундомеру и фиксируется уровень воды в трубках.

На сколько делений поднялся уровень воды в левой трубке, на столько делений должен опуститься уровень воды в правой трубке.

Это свидетельствует, что грунт полностью насыщен,при-

бор герметичен и фильтрация идет правильно.

Разность уровней в пьезотрубках соответствует первоначальному напору воды h_0. Диаметр трубок должен быть одинаковым.

Во время испытаний периодически, в зависимости от типа грунта, измеряются: число делений S, на которое опустился уровень воды в правой трубке или поднялся в левой (см), время t (с), температура $t°$ с точностью до $0{,}5^{\circ}$ (град).

Рекомендуемые интервалы времени, через которые следует производить замеры для различных видов грунта, приведены в табл. 13.

Таблица 13

Вид грунта	Ориентировочные интервалы времени, через которые необходимо проводить замеры	Первоначальный напор воды h_0, см
Глины и тяжелые суглинки	10–12 ч	100–70
Средние суглинки	2–3 ч	50
Легкие суглинки	Не более чем через 1 час	35
Супеси	3–5 мин	Не более 35

4.47. После опыта кольцо с влажным грунтом взвешивают, высушивают в термостате.

Рассчитывают плотность, влажность и степень водонасыщения исследуемого грунта.

Если степень водонасыщения близка к 1, то опыт проведен правильно – при полном водонасыщении.

4.48. Обработка результатов. Расчет коэффициента фильтрации выполняют по формуле

$$K_{10} = \left[f\left(\frac{S}{h_0}\right) : t \right] \cdot \frac{f}{F} \cdot \frac{l}{r} \cdot 864,$$

где K_{10} – коэффициент фильтрации грунта (приведенный к температуре 10°), м/сутки;

t – время падения уровня воды, сек;

f – площадь сечения пьезометрических трубок, $см^2$;

F – площадь кольца, $см^2$;

l – высота образца грунта, равная высоте кольца, см;

r – температурная поправка, равная $0{,}7+0{,}03\,t°$, (t – температура воды);

864 – переходный коэффициент от см/с к м/сутки;

Таблица Каменского

$\frac{S}{h_0}$	$f(\frac{S}{h_0})$	$\frac{S}{h_0}$	$f(\frac{S}{h_0})$	$\frac{S}{h_0}$	$f(\frac{S}{h_0})$	$\frac{S}{h_0}$	$f(\frac{S}{h_0})$
0,00	0,000	0,25	0,288	0,50	0,693	0,75	1,386
0,01	0,010	0,26	0,301	0,51	0,713	0,76	1,427
0,02	0,020	0,27	0,315	0,52	0,734	0,77	1,470
0,03	0,030	0,28	0,329	0,53	0,755	0,78	1,514
0,04	0,040	0,29	0,346	0,54	0,777	0,79	1,561
0,05	0,051	0,30	0,357	0,55	0,799	0,80	1,609
0,06	0,062	0,31	0,371	0,56	0,821	0,81	1,661
0,07	0,073	0,32	0,385	0,57	0,844	0,82	1,715
0,08	0,083	0,33	0,400	0,58	0,868	0,83	1,771
0,09	0,094	0,34	0,416	0,59	0,892	0,84	1,833
0,10	0,105	0,35	0,431	0,60	0,916	0,85	1,897
0,11	0,117	0,36	0,446	0,61	0,941	0,86	1,966
0,12	0,128	0,37	0,462	0,62	0,967	0,87	2,040
0,13	0,139	0,38	0,478	0,63	0,994	0,88	2,120
0,14	0,151	0,39	0,494	0,64	1,022	0,89	2,207
0,15	0,163	0,40	0,510	0,65	1,050	0,90	2,303
0,16	0,174	0,41	0,527	0,66	1,079	0,91	2,408
0,17	0,186	0,42	0,545	0,67	1,109	0,92	2,526
0,18	0,196	0,43	0,562	0,68	1,139	0,93	2,659
0,19	0,210	0,44	0,580	0,69	1,172	0,94	2,813
0,20	0,223	0,45	0,589	0,70	1,204	0,95	2,996
0,21	0,236	0,46	0,616	0,71	1,238	0,96	3,219
0,22	0,248	0,47	0,635	0,72	1,273	0,97	3,507
0,23	0,261	0,48	0,654	0,73	1,309	0,98	3,912
0,24	0,274	0,49	0,673	0,74	1,347	0,99	4,605

S – падение уровня воды в верхней пьезометрической трубке; см;

h_0 – первоначальное превышение уровня воды в верхней пьезометрической трубке над уровнем;

$f(\frac{S}{h_0}) = -l_n(1-\frac{S}{h_0})$ – безразмерный коэффициент, который находится по таблице Каменского (табл.14).

Если обозначить выражение $[f(\frac{S}{h_0}):t]$ через А и выражение $864 \cdot \frac{f}{F} \cdot l$ через С, то получим:

$$K_{10} = AC \cdot \frac{1}{r} .$$

Величины С для колец и пьезометрических трубок, имеющих различные размеры, приведены в табл. 15.

Таблица 15

Кольцо		Площадь поперечного сечения пьезометрических трубок f, $см^2$	С
площадь F, $см^2$	высота l, см		
50	4,0	1	69,12
		0,5	34,56
50	3,0	0,25	12,96

При испытании грунта под нагрузкой строится кривая зависимости коэффициента фильтрации от нагрузки.

Расчетные методы определения коэффициента фильтрации

4.49. К расчетным методам относится определение коэффициента фильтрации песков по данным их гранулометрического состава и пористости по формуле Хазена

$$K_ф = C d_{10}^2 (0,7 + 0,03T) \text{ м/сутки},$$

где С – эмпирический коэффициент однородности песков; для однородных песков С изменяется от 1200 до 800, для неоднородных от 800 до 400;

d_{10} – действующий диаметр зерен, мм;

0,7+0,03Т – температурная поправка.

Область применения указанной формулы ограничена для песков действующим диаметром зерен: d_{10} в пределах от 0,1 до 3,0 мм при коэффициенте неоднородности не более 5.

4.50. Коэффициент фильтрации по данным компрессионных испытаний рассчитывается по формуле

$$K_p = \frac{0,85 a h^2 \rho_в}{U(1+t_{ср})T},$$

где K_p – коэффициент фильтрации связных грунтов, соответствующий давлению P, см/сек;

a – коэффициент сжимаемости для данного интервала давлений;

$\rho_в$ – плотность воды;

T – время, с;

h – высота образца испытуемого грунта, равна $h = h_0 - \Delta h_N$ см;

h_0 – начальная высота образца;

Δh_N – деформация образца;

$e_{ср}$ – среднее значение коэффициента пористости за время сжатия.

Величина T вычисляется графически (рис.15).

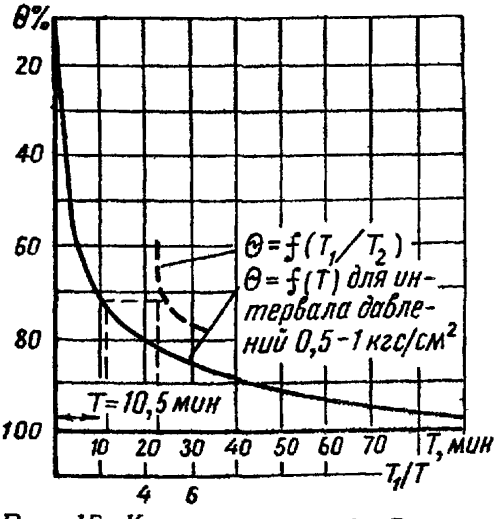


Рис. 15. Кривая консолидации

Для этого строят график зависимости консолидации Q от времени T для данного давления, на график наносят вспомогательную кривую $Q = f(T_1/T_2)$, где T_1 – время, соответствующее $Q/2$ (половина консолидации).

Значения T_1/T_2 откладывают по оси абсцисс в произвольном масштабе и строят кривую зависимости Q от T_1/T_2. На построенной кривой находят точку, абсцисса которой имеет значения $T_1/T_2 = 5{,}27$. Из этой точки пересечения опускают перпендикуляр на ось абсцисс и находят значение искомой величины.

Липкость глинистых грунтов

4.51. Под липкостью грунтов понимается их способность при определенном содержании воды прилипать к поверхности различных предметов.

Липкость характерна для связных грунтов, она проявляется при влажности, превышающей влажность нижнего предела пластичности.

Наибольшее значение имеет определение липкости по отношению к металлам и резине. Это свойство носит в большинстве случаев отрицательный характер, поскольку является причиной снижения производительности земле-транспортных машин, увеличения материальных затрат при разработке грунтов.

4.52. Изучение липкости грунтов должно производиться на образцах, сохранивших природную влажность, так как высыхание грунта приводит к коагуляции коллоидов и снижению величины липкости.

4.53. Для определения липкости грунтов применяют прибор В.В.Охотина, прибор УИЛ-2.

4.54. Подготовка грунта и ход испытаний. Грунт с природной влажностью увлажняют, тщательно перемешивают, помещают в эксикатор над водой, где выдерживают 18-24 час.

Подготовленный грунт укладывают в форму прибора.

В форму с грунтом вводят штамп, который прижимается к грунту прессом при усилии 8,0 МПа.

Форму с грунтом устанавливают в прибор.

Определяют отрывающее усилие и влажность грунта.

Испытание повторяют, увеличивая влажность грунта до тех пор, пока отрывающее усилие грунта не достигнет максимума и не будут получены 2-3 показания, указывающие на уменьшение отрывающего усилия.

4.55. Отрывающее усилие τ подсчитывают по формуле

$$\tau = \frac{P}{F} \text{ МПа},$$

где P - масса дроби, кг;

F - площадь штампа, $см^2$.

4.56. Строят график зависимости липкости грунта от влажности, определяют влажность начального прилипания, максимальную липкость и соответствующую ей влажность.

4.57. Прибор УИЛ-2 разработан лабораторией грунтоведения МГУ, в нем конструктивно решена проблема компоновки прижимающего и отрывающего штамп устройства (рис.16).

Прибор состоит из стола 1 с дугообразной стойкой 2, на которой закреплен электромагнит - соленоид 3 со свободно входящим сердечником 4, штампа 5, штампового кольца 6, гайки 7, грунтовой камеры с грунтовым станком 8, корпуса и крышки корпуса 9, 10, крепежной шайбы 11, рычажного пресса, рычага 12, опор 13 и 14, подпятника 15, коромысла 16, боковой тяги 17, электромагнитного штифта 18, основной тяги 19 с винтом 20.

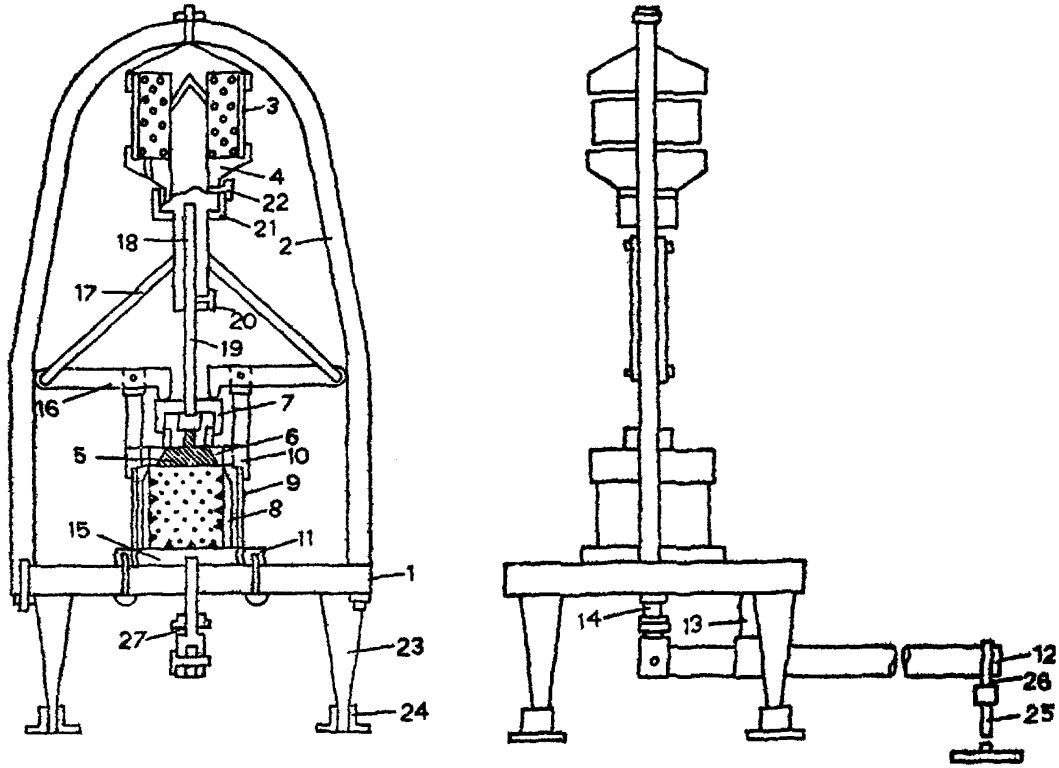


Рис. 16. Прибор (устройство) для измерения липкости почв и грунтов - УИЛ-2

Фиксирование момента отрыва штампа от грунта и контролирование силы тока в цепи ведется по миллиамперметру.

Подготовка грунта к анализу аналогична определению липкости в приборе Охотина (п. 4.54).

Капиллярные свойства грунтов

4.58. К капиллярным свойствам относится определение скорости и высоты капиллярного поднятия воды в грунтах.

4.59. В лабораториях скорость и максимальную высоту поднятия воды в грунтах определяют путем непосредственного наблюдения: в песках на образцах, насыпанных в высокие стеклянные трубки, в глинистых грунтах на специально отобранных монолитах большой длины.

Стеклянные трубки применяются высотой 50–100 см, диаметром 3–4 см, нижний конец трубок обвязывается марлей.

4.60. Ход испытаний. Трубки заполняют песком слоями легким постукиванием. Трубки с песком закрепляют в штативе и опускают в сосуд с водой.

Воду наливают на 0,5–1 см выше нижнего конца трубки. Уровень воды в сосуде в течение опыта поддерживается постоянным.

Скорость и высоту капиллярного поднятия воды в грунтах фиксируют по изменению окраски через 5, 20, 30 мин, часовые и суточные промежутки до окончания поднятия воды в грунте.

Установившийся уровень воды считается максимальной высотой капиллярного воднятия воды в грунте.

5. КОРРОЗИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ГРУНТОВ

5.1. Определение коррозионной активности грунтов основано на потере массы стальных образцов. Испытания проводят согласно ГОСТ 9.015–74.

5.2. Образец представляет собой стальную трубку длиной 100 мм и внутренним диаметром 19 мм.

5.3. Перед испытанием поверхность образца очищают от ржавчины и окалины корундовой шкуркой, обезжиривают ацетоном, высушивают фильтровальной бумагой, выдерживают сутки в эксикаторе с хлористым кальцием и взвешивают с погрешностью не более 0,1 г.

5.4. Образец помещают в жестяную банку высотой 110 мм и внутренним диаметром 80 мм. Для изоляции образца от дна банки в один из его торцов вставляют резиновую пробку так, чтобы она выступала на 10–12 мм.

5.5. Банка заполняется грунтом на 5 мм ниже верхнего конца трубки. Грунт трамбуется для обеспечения плотного прилегания к образцу и банке.

5.6. Грунт увлажняют до появления на его поверхности непоглощенной влаги. Не допускается проводить увлажне-

ние грунта после начала испытаний.

5.7. К банке с помощью зажимного приспособления подключается отрицательный полюс, а к образцу - положительный полюс источника постоянного тока напряжением 6 В.

Образец находится под током в течение 24 часов.

5.8. После отключения тока образец тщательно очищается от продуктов коррозии катодным травлением в 8%-ном гидрате окиси натрия при плотности тока 3-5 А/дм^2, промывается дистиллированной водой, высушивается и взвешивается с погрешностью не более 0,1 г.

Потеря в массе, г	Коррозийность
до 1	низкая
1 - 2	средняя
2 - 3	повышенная
3 - 4	высокая
4	весьма высокая

6. ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Компрессионные испытания

6.1. Принцип компрессионных испытаний заключается в приложении последовательно увеличивающихся вертикальных нагрузок на образец грунта, находящегося в жестком кольце, и измерении осадок, вызванных этими нагрузками.

6.2. Компрессионные испытания в основном проводятся на грунтах с ненарушенным сложением, грунты с нарушенным сложением испытываются по специальным заданиям, в которых указывается при какой влажности и плотности их испытывать.

6.3. Схемы испытаний. В зависимости от вида грунта, его состояния, геологических условий и изменения этих условий в процессе строительства компрессионные испытания делают по различным схемам:

а) испытания проводятся на грунтах с естественной плотностью и влажностью без предварительного замачивания, без возможности высыхания грунта в процессе опыта. Эта схема применяется при оценке сжимаемости глинистых грунтов с большой степенью водонасыщения, а также если в процессе строительства не ожидается дополнительного увлажнения грунта;

б) испытания проводятся на грунтах с ненарушенным и нарушенным сложениям с замачиванием без возможности их набухания (под арретиром).Схема применяется для глинистых грунтов, которые в процессе строительства будут дополнительно увлажнены, а также для определения величины давления набухания и деформации набухания при увлажнении под различными нагрузками и последующего сжатия при нагрузках, пре-

вышающих давление набухания;

в) грунты во время испытаний замачиваются без арретира, грунт свободно набухает в течение нескольких суток. Для ускорения насыщения образцов рекомендуется проводить замачивание в специальных кольцах под вакуумом. Схема применяется для грунтов в открытом котловане с целью определения их набухаемости;

г) замачивание грунтов производится при определенных нагрузках. Схема применяется для выявления просадочных свойств грунтов;

д) для слабых грунтов с повышенным содержанием органических веществ рекомендуется определить сжимаемость во времени для получения данных по консолидации.

6.4. Замачивание грунтов производится в зависимости от задач исследований различной водой: природной, водопроводной, дистиллированной, специальными растворами.

Замачивание грунтов при компрессионных испытаниях осуществляется обязательно снизу.

6.5. Испытания на компрессию в лабораториях проводятся в компрессионных приборах различных марок, из них наиболее распространенными являются: приборы, выпускаемые заводом УЭРМЗ Гидропроекта, приборы конструкции ЦНИИС, УПИ и др., из которых серийно выпускаются приборы конструкции Гидропроекта.

Основными частями компрессионного прибора являются: одометр, загрузочное устройство с рычажной системой, измерительное устройство.

6.6 Применяемые компрессионные приборы должны удовлетворять следующим требованиям:

одометр должен иметь арретирное устройство; должна соблюдаться полная герметичность прибора; деформации самого прибора должны быть минимальными;

конструкция для установки измерительного устройства должна учитывать общую деформацию образца;

отношение высоты рабочего кольца одометра к его диаметру должно составлять не более 1:3,5.

6.7. Одометры компрессионного прибора состоят из разборной обоймы, внутри которой помещается рабочее кольцо с испытуемым образцом.

Компрессионные испытания проводятся в приборах с площадью рабочего кольца не менее 40 $см^2$ и высотой не менее 2 см.

Замачивание образца водой осуществляют через отверстия, расположенные в поддоне одометра. Для создания напора воды на патрубки одометра через резиновые наконечники вставляют стеклянные трубки длиной 15-20 см.

В стенке одометра имеется отверстие для выхода воздуха, которое во время замачивания должно быть открыто.

Давление на грунт передается через перфорированный штамп.

Штамп снабжен двумя стойками для установки индикаторов.

Арретирование образцов грунта производится с помощью арретированного устройства (большей частью в виде кольца).

6.8. Перфорированные части одометра (верхнее дно и штамп) в результате вымывания тонких частиц грунта засоряются, в связи с чем их следует просматривать и регулярно производить чистку стальной проволокой.

6.9. Давление на образец в приборах передается через секретный рычаг.

Нагрузка Q на конец рычага рассчитывается по формуле

$$Q = \frac{P \cdot F}{K},$$

где P – заданное удельное давление, МПа;

F – площадь поперечного сечения образца, $см^2$;

K – отношение большого плеча к малому (в приборах Гидропроекта и завода "Нефтеавтоматика" оно равно 10).

6.10. Для измерения деформации грунта в одометре применяются индикаторы часового типа с точностью 0,01 мм, с ходом стержня 10–25 мм.

6.11. У приборов проверяется герметичность одометра, горизонтальность станины, уравновешивается загрузочное устройство.

Указанную проверку производят после демонтажа прибора или после его ремонта.

Для определения собственных деформаций прибора с учетом сжимаемости бумажных фильтров в рабочее кольцо вместо грунта вставляют металлическую болванку, на нее накладывают смоченные бумажные фильтры.

Передачу давлений проводят такими же ступенями как для грунтов.

Каждую ступень выдерживают до стабилизации, за которую принимают полное отсутствие деформаций в течение 2 минут.

Испытания проводят в 3-кратной повторности, каждый раз меняя фильтры. Результаты записывают в рабочие журналы. Вычисляют среднее значение деформации прибора.

Тарировку повторяют 2 раза в год. Одновременно с тарировкой прибора производят тарировку рабочих колец, для чего измеряют высоту и диаметр колец штангенциркулем, кольца взвешивают, рассчитывают объем колец.

6.12. Ход испытаний. Перед началом испытаний в рабочем журнале отмечают визуальную характеристику образца грунта: консистенцию, вид грунта, цвет и особенности грунта, его неоднородность и слоистость.

6.13. При вырезке грунта рабочим кольцом одометра необходимо обеспечить полное отсутствие перекоса кольца, недопустимо образование зазора между грунтом и стенкой

кольца. С этой целью следует применять ручной пресс.

Чтобы не деформировать грунт, кольцо врезается поступательно, ступенями по 5 мм.

После того как грунт выйдет из кольца на 5–8 мм, его зачищают заподлицо с краями кольца металлической негибкой линейкой.

Одновременно из монолита отбирают пробу для определения влажности и физических свойств.

6.14. Кольцо с отобранным грунтом вставляют в одометр, прибор полностью монтируют, арретируют.

6.15. Передачу давлений на грунт ведут ступенями. Ступени нагрузок назначают в зависимости от вида грунта и его состояния.

Применяемые ступени нагрузок приведены в табл. 16.

Таблица 16

Вид грунта	Ступени нагрузок (МПа)
Глинистые грунты текучей и текуче-пластичной консистенции	по 0,01 до 0,05, 0,075, 0,1 и далее по 0,1
Грунты мягкопластичной и тугопластичной консистенции	0,25, 0,05, 0,1 и т.д. по 0,1
Грунты полутвердой и твердой консистенции	0,05 по 0,1 далее до заданного давления

6.16. Величину максимального давления принимают на 15% больше суммы проектного и природного давления на данной глубине.

6.17. Отсчеты по индикатору берут через 1, 10, 30 и 60 мин, в последующие сутки отсчеты берут в начале и конце рабочего дня.

6.18. Каждую ступень нагрузки выдерживают до условной стабилизации. За условную стабилизацию принимают изменение осадки не более 0,01 мм за 3 часа для супесей, для суглинков и глин 12 часов.

6.19. По специальному заданию производят разгрузку прибора ступенями в обратном порядке, в это время ведут наблюдения за деформацией разуплотнения по индикатору.

После стабилизации разуплотнения от каждой ступени разгрузки определяют соответствующие значения коэффициента пористости.

6.20. При проведении компрессионных испытаний определяют:

плотность образца в кольце прибора до и после опыта;

влажность образца;

высоту образца по показанию индикатора, а также с помощью штангенциркуля с точностью до 0,01 мм после опыта.

6.21. Правильность результатов испытаний проверяют путем сравнения конечного значения коэффициента пористости, установленного по деформациям, со значением коэффициента пористости, подсчитанным по плотности и влажности образца в конце опыта.

В случае значительных расхождений указанных величин (> 5%) в данные опыта вносят поправку.

Поправочный коэффициент рассчитывают по формуле:

$$a = \frac{e_1\ (\text{по влажности})}{e_2\ (\text{по деформации})}.$$

6.22. Обработка результатов. В результате компрессионных испытаний в зависимости от заданий строят следующие графики зависимости:

а) коэффициента пористости от вертикального давления (рис. 17);

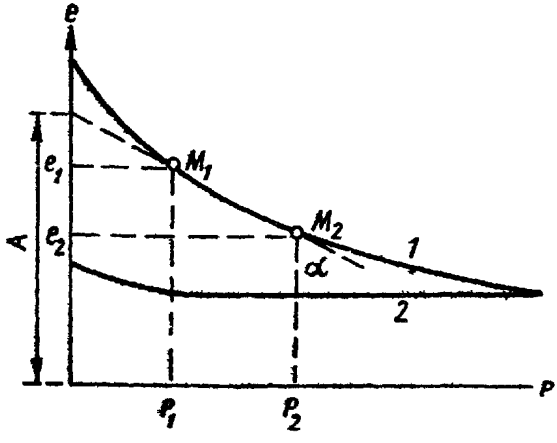


Рис. 17. Компрессионная кривая
1 – кривая уплотнения; 2 – кривая разуплотнения

б) относительного сжатия (%) от вертикального давления;

в) деформации от времени.

Рассчитывают следующие показатели: коэффициент сжимаемости, модуль деформации, модуль осадки, коэффициент консолидации.

6.23. Коэффициент сжимаемости a определяют по формуле

$$a = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1},$$

где e_1 – коэффициент пористости предыдущей ступени нагрузки;

e_2 – коэффициент пористости последующей ступени нагрузки;

P_1 – предыдущая ступень нагрузки в МПа;

P_2 – последующая ступень нагрузки в МПа .

6.24. Модуль деформации E определяют на близком к прямолинейному участке по компрессионной кривой в определенном диапазоне давлений по формуле

$$E = \frac{1+\mu-2\mu^2}{1-\mu} \cdot \frac{(1+e_1)(P_2-P_1)}{e_1-e_2} \qquad \text{или} = \frac{1+\varepsilon_0}{\alpha} \cdot \beta, \text{ МПа},$$

где μ – коэффициент бокового расширения (Пуассона);

e_1, e_2 – коэффициенты пористости в заданном интервале давлений;

P_1, P_2 – нагрузка в тех же интервалах давлений, МПа.

Как правило, диапазон давлений принимают в пределах давлений от природного до проектного.

Значения величины μ приведены ниже.

Вид грунта	Консистенция J_L	μ
Глина	Твердая	0,20
То же	Полутвердая	0,30
Суглинок	Твердая	0,33
То же	Полутвердая	0,37
Глины и суглинки	Тугопластичные	0,38
То же	Мягкопластичные	0,40
"	Текучепластичные	0,42
"	Текучие	0,45
Песчаные грунты	Плотные	0,25
То же	Средней плотности	0,30

Примечание. Значения μ взяты из табл. 18 СНиП П-Б.3-62.

Меньшие значения коэффициента μ относятся к более плотным грунтам соответствующего вида.

6.25. Модуль осадки $l_{p\pi}$ определяется по данным компрессионных испытаний по формуле

$$l_{p\pi} = 1000 \frac{\Delta h_\pi}{h_0}, \text{ мм/м},$$

где Δh_π – уменьшение высоты образца при давлении P_π, мм;

h_0 – начальная высота образца, мм.

6.26. Уплотнение глинистого водонасыщенного грунта во времени под постоянной нагрузкой называется консолидацией.

Процессы консолидации необходимо знать для правильного прогноза скорости осадок сооружения.

Кривую консолидации строят по результатам испытаний грунтов на сжимаемость в одометрах компрессионных приборов при постоянной нагрузке, равной проектной.

Для испытаний берут образцы с ненарушенным сложением, испытания проводят под водой, под арретиром.

Нагрузку на образец передают мгновенно, результаты записывают через интервалы времени: 5, 15, 30 сек, 1, 2, 3, 5, 10, 15, 30, 60 минут, далее через каждый час до 8 часов и затем два раза в сутки.

Время, необходимое для той или иной степени консолидации, зависит от ряда факторов, влияние которых учитывает величина коэффициента консолидации C_V.

Определение коэффициента консолидации C_V для водонасыщенных заторфованных грунтов, торфов и илов производят путем обработки кривой консолидации по методу Тейлора. Для определения коэффициента консолидации C_V строят кривую консолидации в системе координат "деформация y – квадратный корень времени $\sqrt{t}$" (см. рис. 18). К этой кривой проводят касательную прямую линию, совпадающую с начальным прямолинейным участком кривой консолидации. Продолжение касательной до пересечения с осью ординат дает точку А, которая называется точкой начала первичной консолидации. Из точки А проводят вторую прямую линию, все абсциссы которой равны 1,15 соответствующих абсцисс первой линии, точка пересечения второй прямой линии с кривой (точка В) соответствует 90% первичной консолидации.

Коэффициент консолидации C_V определяется из уравнения:

$$C_V = \frac{0{,}848 \cdot (0{,}5H)^2}{t_{90} \cdot 60} \text{ см}^2/\text{с},$$

где 0,848 – числовой коэффициент Тейлора для 90% первичной консолидации;

H – высота образца в см;

t_{90} – время, соответствующее 90% первичной консолидации и определяемое из графика на рис. 18, в мин.

Например, для графика на рис. 18 при высоте образца H = 2 см абсциссе $\sqrt{t_{90}} = 2{,}1$ $\sqrt{t}$ минут; $t_{90} = 2{,}1^2$ $t_{90} = 4{,}4$ мин.

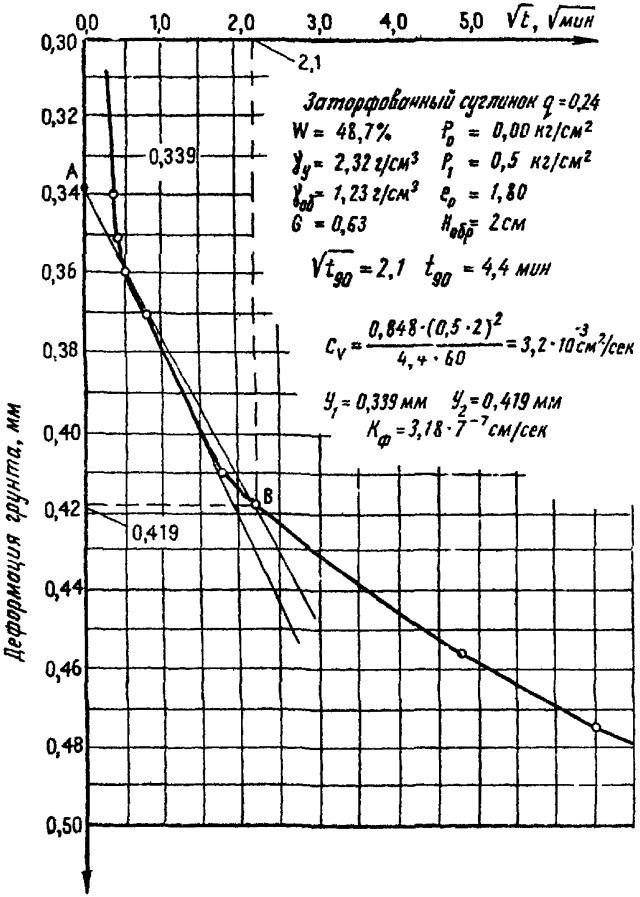


Рис.18. Кривая консолидации к методу определения коэффициента консолидации C_V и коэффициента начальной фильтрации K_ϕ.

$$C_v = \frac{0{,}848 \cdot (0{,}5 \cdot H)^2}{t_{90} \cdot 60} = \frac{0{,}848 \cdot (0{,}5 \cdot 2)^2}{4{,}4 \cdot 60} = 3{,}2 \cdot 10^{-3}\ см^2/с.$$

По величине коэффициента консолидации можно определить коэффициент фильтрации $K_ф$ по формуле:

$$K_ф = \frac{C_v \cdot \rho_в \cdot a}{1 + e_{ср}},$$

где C_v – коэффициент консолидации в $см^2$/сек;

$\rho_в$ – плотность воды, равная 0,001 $кг/см^3$;

a – коэффициент сжимаемости в интервале давлений данного испытания в $см^2$/кг;

$e_{ср}$ – среднее значение коэффициента пористости в рассматриваемом интервале.

В нашем примере по кривой консолидации определяем величину деформаций соответствующих началу (точка А) и концу (точка В) первичной консолидации:

$$y_1 = 0{,}389\ мм; \qquad y_2 = 0{,}419\ мм$$

Коэффициенты пористости для этих значений деформаций равны:

$$e_1 = e_0 - \frac{y_1}{H} \cdot (1 + e_0) = 1{,}8 - \frac{0{,}339}{20}(1 + 4{,}80) = 1{,}753;$$

$$e_2 = 1{,}80 - \frac{0{,}419}{20}(1 + 1{,}80) = 1{,}741.$$

Среднее значение коэффициента пористости

$$e_{ср} = \frac{e_1 + e_2}{2} = 1{,}747.$$

Определяем коэффициент сжимаемости в интервале давлений 0,0 – 0,5 $кгс/см^2$

$$a = \frac{1{,}753 - 1{,}747}{0{,}5 - 0{,}0} = 0{,}024$$

тогда коэффициент фильтрации будет равен

$$K_ф = \frac{3{,}2\ 10^{-3} \cdot 0{,}001 \cdot 0{,}024}{1 + 1{,}747} = 2{,}78\ \ 10^{-8}\ см/с$$

или $K_ф = 2{,}78\ 10^{-8} \cdot 864 = 2{,}40\ 10^{-5}$ м/сутки

Просадочность

6.27. К просадочным грунтам относятся глинистые грунты, которые под действием внешней нагрузки или собственного веса при замачивании водой дают дополнительную осадку (просадку) - СНиП П-15-74.

6.28. При изучении просадочных свойств грунтов в компрессионных приборах определяют относительную просадочность и начальное просадочное давление.

Определение относительной просадочности проводят различными методами - "одной кривой", "двух кривых", "упрощенным методом".

6.29. По методу "одной кривой" определяют относительную просадочность при заданном давлении.

Испытания этим методом проводят, когда фактически давления в основании проектируемых фундаментов заранее известны, а также при необходимости определения относительного просадочного уплотнения лёссовых грунтов при длительной и постоянной фильтрации воды.

При испытаниях просадочных грунтов методом "одной кривой" замачивание образцов начинают после стабилизации осадки грунта на последней ступени нагрузки и продолжают непрерывно до стабилизации просадочных деформаций.

6.30. По методу "двух кривых" определяют относительное сжатие грунта с природной влажностью в водонасыщенном состоянии и относительную просадочность при различных давлениях и начальное просадочное давление.

Для испытаний просадочных грунтов методом "двух кривых" замачивание одного из двух образцов начинают после установки рабочего кольца с грунтом в компрессионном приборе до передачи первой ступени нагрузки; другой образец испытывают при естественной влажности, замачивание этого образца проводят только на последней ступени нагрузки, что позволяет сопоставить величины относительной просадочности, получаемые методами одной и двух кривых при данном давлении.

6.31. По "упрощенному" методу проводят испытания на грунтах природной влажности и с водонасыщением на одном образце.

Образец грунта природной влажности нагружают ступенями до давления на грунт, близкого к величине начального давления просадки или бытового давления P_{i3}. После стабилизации образца под этим давлением образец замачивают, а затем загружение образца до заданного давления проводят при непрерывном замачивании.

Деформации образца природной влажности при давлениях, больших P_{i3}, и в водонасыщенном состоянии при давлениях, меньших P_{i3}, определяют линейной экстраполяцией.

По упрощенному методу определяют тот же комплекс характеристик, что и методом двух кривых. Этот метод сле-

дует считать как ориентировочный.

6.32. Если полученные для сопоставления значения относительной просадочности неодинаковы, но отличаются друг от друга не более чем в 1,1 раза, то в качестве результата испытания, используемого для построения графика зависимости относительной просадочности от давления $\delta_{пр_i} = f(P_i)$, принимается среднее арифметическое значение из сравниваемых величин $\delta_{пр_i}$.

В тех случаях, когда сопоставляемые значения $\delta_{пр_i}$ различаются более чем в два раза, испытания целесообразно повторить.

Если значения отличаются менее чем в 2 раза, но более чем в 1,1 раза, значения относительной просадочности при различных давлениях, полученных по испытаниям методом двух кривых, умножаются на поправочный коэффициент $K_п$ который рассчитывается по формуле

$$K_п = \frac{\delta_{пр_i} + \delta''_{пр}}{2\delta''_{пр}},$$

где $\delta_{пр_i}$ – относительная просадочность при замачивании образца на последней ступени нагрузки (образец без замачивания);

$\delta^2_{пр}$ – то же по другому образцу (образец замачивался сразу).

Обязательным условием метода "двух кривых" является идентичность образцов грунта, расхождение по плотности должно быть не более 0,03 г/см^3, естественной влажности – 1-2%.

6.33. Относительную просадочность $\delta_{пр}$ рассчитывают по формуле

$$\delta = \frac{h' - h_{пр}}{h_0},$$

где h' – высота образца грунта природной влажности, обжатого без возможности бокового расширения давлением P, равным давлению, действующему на рассматриваемой глубине от собственного веса грунта и нагрузки от фундамента или только от веса грунта;

$h_{пр}$ – высота того же образца после замачивания его до полного водонасыщения при сохранении давления P;

h_0 – высота того же образца грунта природной влажности, обжатого без возможности бокового расширения давлением, равным давлению от собственного веса грунта на рассматриваемой глубине.

За начальное просадочное давление принимается давление, при котором относительная просадочность равна 0,01.

При испытании просадочных грунтов в компрессионных приборах методами, изложенными в п.п.6.29, 6.32, нагружение образцов проводят, как правило, ступенями нагрузок, равными 0,05 МПа, в водонасыщенном состоянии нагрузки уменьшают до 0,025 МПа, при испытании уплотненных грунтов нагрузку увеличивают до 0,1 МПа.

Каждую ступень нагрузки выдерживают до условной стабилизации осадки образца. За условную стабилизацию принимают увеличение осадки, не превышающее 0,01 мм за 3 ч.

Относительное набухание и давление набухания

6.34. По данным компрессионных испытаний определяют зависимости величины относительного набухания грунта от давления $\delta = f(P)$, величину давления набухания - $P_н$, величину свободного относительного набухания - δ_g.

Относительным набуханием называется отношение увеличения высоты набухшего под нагрузкой образца в условиях невозможности бокового расширения к его первоначальной высоте. За давление набухания принимается давление на образец грунта, замачиваемого и обжимаемого без возможности бокового расширения, при котором деформации набухания отсутствуют.

Определение относительного набухания и давления набухания проводят методом одной кривой, который предназначается для всех стадий проектирования.

Определение относительного набухания методом двух кривых допускается при предварительной оценке набухаемости грунтов.

6.35. При проведении испытаний грунтов с ненарушенной структурой обязательно соблюдение ориентации образцов.

При проектировании искусственных земляных сооружений относительное свободное набухание и давление набухания определяют для грунтов с нарушенной структурой.

6.36. При определении относительного, свободного набухания и давления набухания методом одной кривой берут несколько образцов из одного горизонта и уплотняют разными нагрузками до условной стабилизации осадки, т.е. изменения показания индикатора не менее 0,02 мм в течение суток.

Затем образцы под указанными нагрузками замачивают, при этом показания индикатора записывают через 5, 30, 60 мин и далее через каждый час в течение 6 часов, на следующие сутки - два раза. Опыт считается законченным, если в течение суток показания индикатора изменились не более 0,01 мм.

6.37. Нагрузки и количество образцов назначают в зависимости от возможных величин напряжений в основании.

Обычно применяют следующие нагрузки: 0,01; 0,025; 0,05; 0,1; 0,2 МПа до величины давления набухания.

6.38. Для каждого испытуемого образца определяют ве-

личину относительного набухания $\delta_н$ по формуле

$$\delta_н = \frac{h' - h}{h},$$

где h – первоначальная высота образца;

h' – изменение высоты образца, определенное по показаниям индикаторов.

6.39. По полученным данным строят график зависимости величины относительного набухания от давления.

Давление, при котором деформация набухания грун т а равна нулю, принимается за давление набухания.

Влажность набухания $W_н$ определяют для каждого образца (см. раздел 1У, пункт 4.10)

6.10. Для того, чтобы уменьшить диапазон нагрузок в описанном методе (п. 6.37-6.38) и сократить тем самым число колец можно предварительно определить величину давления набухания арретирным методом на одном образце.

При этом кольцо с подготовленным грунтом помещают в одометр прибора, закрепляют арретиром, насыщают водой не менее 2-х суток, после насыщения образца водой прикладывают нагрузки ступенями по 0,01-0,025 МПа в зависимости от консистенции с интервалом 1 час. Давление, при котором деформации набухания равны нулю, принимают за давле н и е набухания.

Полученную величину давления набухания умножают на коэффициент 0,8 и ее принимают как конечное давление по методу одной кривой (п.6.37).

6.41. При испытании методом двух кривых выре з а ют два кольца из одного монолита, первый образец замачивают без нагрузки, второй нагружают ступенями по 0,1 МПа с интервалом 1 час до давления, меньшего давления набухания.

После стабилизации осадки образец замачивают.

6.42. Полученные результаты наносят на график, по которому вычисляют относительное набухание от давления.

Испытания грунтов в приборах трехосного сжатия

6.43. Испытание грунтов в условиях пространственного объемного напряжения называется трехосным сжатием. Испытания на трехосное сжатие проводят в специальных приборах-стабилометрах.

По принципу работы и конструктивным особеннос т я м стабилометры подразделяются на два типа: тип А и тип Б (рис. 19).

В приборах типа А образец грунта подвергают всестороннему давлению и добавочному осевому (вертикальному) давлению (девиатору напряжений).

В приборах такого типа испытания проводят в зависимости от методики двумя способами:

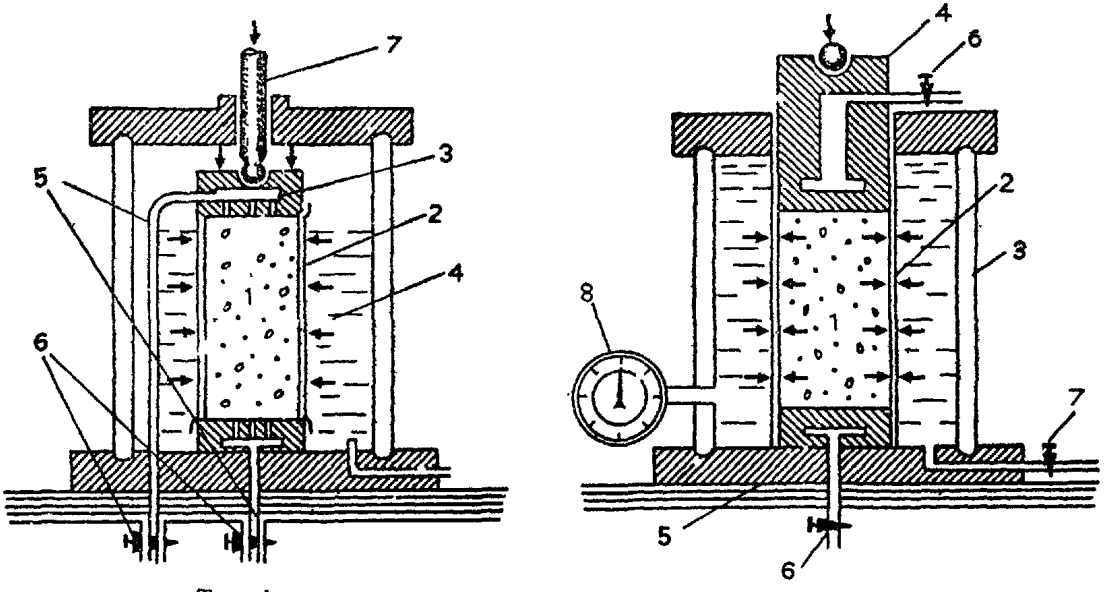


Рис. 19. Схемы стабилометров

Тип А

1 – образец; 2 – резиновая оболочка; 3 – верхний и нижний поршни; 4 – камера; 5 – соединительные трубки; 6 – краны; 7 – шток

Тип Б

1 – образец; 2 – резиновая оболочка; 3 – камера; 4 – подвижный поршень; 5 – неподвижный поршень; 6–7 – краны; 8 – манометр

1) образец подвергают всестороннему давлению, а затем увеличивают вертикальную нагрузку при постоянном всестороннем давлении;

2) при определенном всестороннем давлении прикладывают вертикальную нагрузку, меньшую разрушающей, а затем уменьшают боковое давление.

В стабилометрах типа А определяют, как правило, прочностные характеристики грунтов.

6.44. Определение деформационных свойств грунтов в стабилометрах. Деформационные свойства грунтов определяют в стабилометрах типа Б, в которых давление, создаваемое в камере прибора, является только боковым. Испытания в приборах такого типа сходны с испытаниями в одометрах, т.е. без возможности бокового расширения образцов. В отличие от компрессионных приборов сжатие образцов в стабилометрах проходит без трения грунта о боковые стенки прибора.

Принцип работы стабилометра заключается в том, что образец грунта цилиндрической формы сжимается в водонепроницаемой резиновой оболочке. Боковое пространство между образцом и камерой заполнено водой. Сверху и снизу образца помещаются перфорированные штампы.

6.45. Испытания в стабилометрах проводятся на образцах ненарушенного сложения, а также нарушенного сложения заданной плотности и влажности по специальным заданиям.

6.46. В зависимости от вида грунта и геологических условий схемы испытания в стабилометрах по определению деформационных характеристик грунта аналогичны компрессионным, т.е. испытания проводят на грунтах природной влажности и плотности без замачивания и с замачиванием без возможности набухания (под арретиром) для грунтов, которые могут быть дополнительно обводнены в процессе строительства и для определения давления набухания.

6.47. К наиболее распространенным стабилометрам типа Б относятся стабилометры, изготовляемые ЛИИЖТом - ГБ-6, ГБ-8, МИИТом - М-2, Уральским политехническим институтом УПИ-15, СБ ЦТИСИЗ.

6.48. Основными частями стабилометра являются: испытательная камера, нагрузочное устройство и стойка с пьезометрами.

Основное требование к стабилометрам - их полная герметичность.

6.49. Измерение вертикальных деформаций производят индикатором часового типа, боковое давление измеряют манометром.

6.50. Насыщение образца водой осуществляется снизу вверх через пьезометры.

6.51. Осевое давление на образец передается непосредственно через штамп.

6.52. Перед началом испытаний проверяют герметичность прибора путем опрессования собранного прибора давле-

нием, под которым преимущественно работает прибор, и чувствительность нагрузочного устройства (см. Инструкцию).

6.53. Ход испытаний. Грунт с ненарушенной структурой вырезают из монолита шаблоном с помощью ручного винтового пресса. Одновременно из монолита отбирают пробу на влажность и для определения физических свойств.

Шаблон с грунтом взвешивают на технических весах для определения плотности образца.

Грунт из шаблона выталкивают с помощью выталкивателя и устанавливают на диск основания испытательной камеры, затем на образец надвигают гидравлическую камеру, в которую предварительно вставляют резиновую оболочку.

Прибор полностью монтируют и арретируют. После этого камеру заполняют водой, уравновешивают нагрузочное устройство, устанавливают индикатор и манометр.

6.54. Грунт обжимают вертикальными нагрузками ступенями.

Величина ступеней зависит от вида и состояния грунта.

Ступени нагрузок в стабилометрах аналогичны компрессионным (табл. 12).

Каждую ступень нагрузки выдерживают до условной стабилизации, за которую принимается приращение вертикальной деформации 0,01 мм за 8 часов.

6.55. При определении давления набухания образец замачивают под арретиром. Давление набухания измеряют манометром.

6.56. Обработка результатов. Результаты испытаний в стабилометрах оформляют в виде графика зависимости относительной вертикальной деформации от вертикального давления $i_b = f(P_g)$.

6.57. Коэффициент сжимаемости a рассчитывается по формуле

$$a = \frac{i_{gк} - i_{gн}}{\sigma_{gк} - \sigma_{gн}}(1 + l_0) \text{ см}^2/\text{н}.$$

Модуль деформации E рассчитывается по формуле

$$E = \frac{\sigma_{gк} - \sigma_{gн}}{i_{gк} - i_{gн}} \cdot \beta \text{ МПа},$$

где $i_{gк}$ – относительная вертикальная деформация конечная, мм;

$i_{gн}$ – относительная вертикальная деформация начальная, мм;

$\sigma_{gк}$ – вертикальное давление конечное, МПа;

$\sigma_{gн}$ – вертикальное давление начальное, МПа;

β – коэффициент, учитывающий расширение грунта;

l_0 – коэффициент пористости начальный.

Коэффициент β находят по табл. 17

Таблица 17

Вид грунта	Коэффициент β
Глинистый	
Консистенция:	
текучая, текучепластичная	0,80
мягкопластичная, тугопластичная	0,82
полутвердая, твердая	0,86
Песчаный	0,82

6.58. Боковое давление $\sigma_б$ грунта измеряют манометром.

Боковое давление грунта изменяется в зависимости от вертикальных нагрузок, в связи с чем строят график зависимости от нагрузки $\sigma_б = f(P)$, коэффициент бокового давления рассчитывается по формуле

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{бк}}{\sigma_{вк}},$$

где $\sigma_{бк}$ – боковое давление конечное, МПа;

$\sigma_{вк}$ – вертикальное давление конечное, МПа.

Испытания в приборах одноосного сжатия

6.59. Испытания проводят для грунтов с временным сопротивлением сжатию менее 5,0 МПа. Одноосным сжатием называется сжатие образца грунта вертикальной нагрузкой при отсутствии бокового давления.

6.60. Согласно ГОСТ 17245-71 испытания проводят на образцах формы круглого цилиндра или прямоугольного параллелепипеда размером диаметра или грани от 40 до 100 мм. Возможно использование керна колонкового бурения.

6.61. Для глинистых грунтов испытания проводят на цилиндрических образцах с ненарушенным сложением с сохранением естественной влажности при отношении диаметра к высоте не менее чем 1:1,5, с 2-3-кратной повторностью.

6.62. В зависимости от поставленной задачи испытания проводят для образцов в различном состоянии:

воздушно-сухом (R_c)

водонасыщенном $(R_в)$

естественновлажном (R_e)

6.63. Подготовка образцов. Процесс подготовки образцов включает следующие последовательные операции: выбуривание цилиндров, резание, шлифование.

Для сохранения образцов естественной структуры, влаж-

ности выбуривание осуществляется "всухую". Применяются коронки с большим выходом резцов за боковые поверхнос т и при значительном возвышении их над торцом корончатого кольца, а также трубчатые коронки, армированные резцами из твердых сплавов. Коронки имеют ряд сквозных отверстий для лучшего удаления грунтовой стружки.

6.64. Образцы вырезают дисковой пилой, применяю т с я металлические диски, армированные твердосплавными резцами.

6.65. Шлифование образцов для получения ровных и чисто обработанных торцевых поверхностей проводится с применением порошков карбида кремния.

6.66. Грунты, разрушающиеся при резании коронкой, обрабатываются резцом на токарном станке. Обработка производится по боковой поверхности цилиндра и с торца, после чего образец зажимается в оправку и обрабатывается второй торец.

6.67. Для обработки образцов грунта применяется следующее оборудование: сверлильный станок, выпускаемый для металлообработки; камнерезный станок СДСП-2; шлифовальный станок СТ-2; токарный станок, выпускаемый для металлообработки.

6.68. Для испытания грунта на одноосное сжатие применяется пресс с максимальным давлением до 10 тс, рекомендуются испытательные машины С10 или Р-10 (ГОСТ 7855-68).

6.69. Ход испытаний. Образец грунта помещают под пресс между двумя стальными прокладками.

На образец грунта передается нагрузка со скоростью 0,01-0,05 МПа в секунду. Нагрузку увеличивают до разрушения образца. Для мягких глинистых грунтов за условный предел прочности на сжатие принимается напряжение, при котором остаточные деформации составляют 10-15% первоначальной высоты образца.

6.70. Обработка результатов. По полученным данным вычисляется временное сопротивление грунтов при одноосном сжатии образца R по формуле

$$R=\frac{F}{S},$$

где F - нагрузка в момент разрушения образца в МПа;

S - площадь поперечного сечения образца в $см^2$.

Определение прочности песчаных и глинистых грунтов

6.71. Испытания в одноплоскостных срезных приборах. Испытания на сдвиг методом одноплоскостного среза являются наиболее распространенным методом определения прочностных свойств грунтов. Одноплоскостным срезом называет с я прямой срез образца грунта в фиксированной плоскости при определенном нормальном давлении.

6.72. Связь между сопротивлением срезу τ и нормальным напряжением σ в плоскости среза выражается уравнением:

$$\tau = tg\varphi \cdot \sigma + C,$$

где $tg\varphi$ – тангенс угла внутреннего трения;

C – удельное сцепление глинистых грунтов или параметр линейности песчаных грунтов.

6.73. Для установления параметров $tg\varphi$ и C необходимо проводить определение τ не менее чем при трех значениях σ.

Для получения расчетных значений $tg\varphi$ и C необходимо иметь не менее шести определений τ при каждом из значений σ.

6.74. Существующие одноплоскостные срезные приборы по характеру приложения сдвигающих усилий разделяются на два типа:

приборы типа А – со ступенчатым приложением сдвигающей нагрузки;

приборы типа Б – с постоянно действующей сдвигающей нагрузкой при заданной постоянной скорости действия последней.

Все остальные различия приборов имеют конструктивный характер.

6.75. В соответствии с ГОСТ 12248-66 требуется, чтобы срезная коробка приборов состояла из верхней неподвижной части и нижней подвижной. Для глинистых грунтов допускается применение приборов с верхней подвижной кареткой.

6.76. Существуют различные модификации усовершенствованных приборов одноплоскостного среза (табл. 18), позволяющие:

механизировать приложение сдвигающего усилия на приборах типа Б с помощью электротяги;

автоматизировать запись параметров сдвига – усилие сдвига и деформации образца грунта.

С целью упрощения работы на приборах ВСВ-1 и ВСВ-25 и обеспечения строго фиксированного нормального давления рекомендуется заменять винтовую передачу рычажной, используя любые станины приборов рычажного типа.

6.77. В качестве измерительной аппаратуры используют индикаторы часового типа с точностью 0,01 мм.

6.78. Срезные приборы устанавливают в помещении с прочным полом, не подвергающимся вибрации, вдали от нагревательных приборов.

6.79. При испытаниях на нагрузку в прибор вместо грунта вставляют металлическую болванку размером, равным образцу. Прикладывают максимальные нагрузки, взятые из технической характеристики прибора (вертикальную – 1,25 МПа и горизонтальную – 0,75 МПа).

6.80. Наладку или регулировку прибора производят согласно инструкции:

1) проверяют уровнем горизонтальность панели прибора, регулировка достигается опорами ножек стола с помощью ключа;

2) проверяют горизонтальность троса, передающего сдвигающее усилие;

3) приводят сектор в равновесие путем перемещения противовеса; при правильно отрегулированном положении противовесов секторный рычаг должен выходить из исходного положения после приложения к нему груза не свыше 50 г.

6.81. Прибор проверяют с помощью тарировочного приспособления согласно инструкции "Прибор для испытания грунтов на сдвиг", М., Гидропроект, 1974.

6.82. Существующие схемы испытаний зависят от следующих факторов:

а) стадии проектирования и типа проектируемого сооружения;

б) условий работы грунтов основания во взаимодействии с сооружением;

в) состава, свойств и структурных особенностей грунтов.

Схема испытания грунтов на сдвиг составляется из взаимодействия следующих методических факторов:

а) способа предварительной подготовки образцов, включающего характер приложения и время воздействия уплотняющих нагрузок, насыщения образцов водой или другими растворами, условий набухания и др.;

б) характера приложения и величин нормальных нагрузок;

в) характера приложения сдвигающих нагрузок - непрерывное приложение или ступенчатое приложение после полной (условной) стабилизации деформации от предыдущей ступени;

г) времени приложения сдвигающей нагрузки.

Факторы, влияющие на схему испытаний, приведены в табл. 19. Каждому из факторов присвоен цифровой код, что позволяет любую выбранную схему представить в виде закодированного числа. Например: 5323 - сдвиг с предварительным уплотнением под одной нагрузкой, нормальные нагрузки при сдвиге соответствуют заданию (по величине не превышают нагрузки предварительного уплотнения), каждая ступень сдвигающей нагрузки прикладывается ступенями после стабилизации деформации от предыдущей ступени, замедленный сдвиг.

Медленный сдвиг в условиях завершенной консолидации производят в соответствии с ГОСТ 12248-66 "Грунты. Метод лабораторного определения сопротивления срезу песчаных и глинистых грунтов на срезных приборах в условиях завершенной консолидации",

6.83. Предварительная подготовка образцов. Насыщение образцов водой производят в случае прогнозирования замачивания грунтов в процессе строительства или эксплуатации сооружения под воздействием естественных или искусственных факторов.

Таблица 18

Классификация и техническая характеристика приборов одноплоскостного среза

Тип прибора	Способ приложения сдвигающего усилия	Марка прибора	Размеры образца			Предельные нагрузки МПа	
			диаметр, мм	высота, мм	площадь поперечного сечения $см^2$	вертикальная	горизонтальная
А	рычажный	ГГП-30, Маслова-Лурье в модернизации Гидропроекта	71,4	35-50	40	1,25	1,0
Б	винтовой	ВСВ-1 (Гидропроекта)	71,4	35-50	40	1,0	1,0
Б	винтовой	ВСВ-25 (Гидропроекта)	71,4	35	40	2,5	-
Б	винтовой	СПФ-2 (Фундаментпроекта)	71,4	35-35	40	2,0	1,2

Таблица 19

Схемы испытаний на сдвиг

Цифровой код	По предварительной подготовке образцов	Цифровой код	По характеру приложения и величине нормальных нагрузок	Цифровой код	По характеру приложения сдвигающей нагрузки	Цифровой код	По времени приложения сдвигающей нагрузки
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Без предварительной подготовки (в естественном состоянии)	1	Величина нормальной нагрузки соответствует нагрузке предварительного уплотнения	1	Каждая ступень сдвигающей нагрузки прикладывается непрерывно возрастающей нагрузкой, скорость среза составляет 0,01мм/мин	1	Быстрый сдвиг производится в течение 30-60 сек с момента приложения нормальной нагрузки
2	С дополнительным насыщением водой с сохранением естественной плотности	2	Величина нормальной нагрузки принимается по специальному заданию в зависимости от свойств грунта и нагрузки от сооружения				
3	С ограниченным набуханием грунта					2	Ускоренный сдвиг производится в течение 5-6 мин, либо до момента перемещения подвижной обоймы на 5мм
4	С возможностью свободного набухания						

Продолжение табл. 19

1	2	3	4	5	6	7	8
5	С предварительным[xx] уплотнением (или набуханием) под одной нагрузкой при полном водонасыщении	3	Приложение нормальных нагрузок производится по методике многоточечного приложения нормальных нагрузок в соответствии с ИМД 41-75	2	Каждая ступень сдвигающей нагрузки прикладывается ступенями после полной (либо условной) стабилизации деформации от предыдущей ступени сдвигающего усилия. (Величина ступени не превышает 5% от значения нормального давления)	3	Замедленный - сдвиг производится в течение 20-40 мин
6	С предварительным уплотнением при полном насыщении водой под нагрузками, действующими при сдвиге					4	Медленный - сдвиг производится в соответствии с ГОСТ 12248-66
7	С нарушением естественной структуры (с заданной влажностью-плотностью)					5	Длительный сдвиг применяется как специальная схема исследований для изучения реологических свойств пород
8	Специальные способы	x)					

Примечания. Если в процессе сдвига отмечается уплотнение грунта (отжатие воды), следует снизить нормальные нагрузки, при которых производится сдвиг, или перейти на схему консолидированного сдвига.

xx) В заданиях лаборатории необходимо указывать величины нормальных нагрузок при предварительной подготовке и производстве сдвига.

6.84. Величина нагрузки предварительного уплотнения зависит от характера сжимаемости грунта под проектируемым сооружением и времени консолидации основания. Схема выбора нагрузок предварительного уплотнения представлена в табл. 20.

Примечание. Предварительное уплотнение песков производят, если они предназначаются в качестве основании тяжелых сооружений, в остальных случаях уплотнение образца создается нагрузкой, прикладываемой к нему при срезе в течение 5-10 мин.

6.85. Проведение испытания на сдвиг. Схема испытания на сдвиг принимается в соответствии с табл. 18, либо по другим схемам, вытекающим из задачи исследования. Рекомендации по применению некоторых схем испытаний на сдвиг глинистых пород приведены в табл. 21.

6.86. Перед выполнением опыта проверяют сохранность образца и соответствие его природной влажности и плотности.

6.87. Вырезают образцы цилиндров для испытаний, соответствующие размером срезных колец. Диаметр кольца должен быть не менее 70 мм и высота в пределах 1/2-1/3 диаметра. Допускается применение образцов однородных глинистых грунтов диаметром не менее 56 мм.

6.88. Рядом с местом вырезки образцов отбирают две пробы для определения влажности. Для каждого вырезанного образца определяется плотность, для неоднородных монолитов - гранулометрический состав. Для однородных образцов эти характеристики определяются для всего монолита. Плотность минеральной части определяется для монолита в целом.

6.89. При испытаниях грунта с естественной влажностью необходимо принять меры, обеспечивающие сохранение образца во время опыта от высыхания. В случаях, когда схема опыта предусматривает предварительное уплотнение или срез образца под водой, рекомендуется использовать воду природного состава или по химическому составу близкую к ожидаемому в условиях эксплуатации сооружения.

6.90. В случаях насыщения образца водой необходимость фиксации образца арретиром (условия набухания) определяется схемой опыта.

6.91. Время насыщения образцов водой должно быть не менее:

для песчаных грунтов	10 мин
для супесей	4 час
для суглинков с числом пластичности менее 0,12 .	6 час
то же с числом пластичности более 0,12	8 час
для глин с числом пластичности менее 0,22 . . .	12 час
то же с числом пластичности 0,22-0,35	20 час

то же с числом пластичности 0,35–0,40 . . . . . 48 час
то же с числом пластичности 0,40 . . . .до полного водонасыщения по специальным экспериментам.

6.92. После предварительного уплотнения в срезной коробке нормальные давления прикладывают ступенями по 0,05МПа до суммарной величины 0,2 МПа и далее по 0,4 МПа. Каждую ступень нагрузки выдерживают: для песчаных грунтов – 2 мин, для глинистых грунтов – 5 мин.

Конечную ступень выдерживают до условной стабилизации вертикальной деформации, которая считается достигнутой при скорости, не превышающей 0,01 мм:

для песков за 30 мин,
для супесей за 1 час,
для суглинков за 3 час,
для глин за 6 часов.

6.93. Перед приложением сдвигающей нагрузки срезную коробку приводят в рабочее положение, устанавливают необходимый зазор в коробке срезывателя и приводят в рабочее положение измерительные приборы.

6.94. Сдвигающая нагрузка прикладывается: непрерывная схема – скорость среза и горизонтальная деформация принимаются равными 0,01 мм в мин;

ступенчатая схема – сдвигающие нагрузки передают с я ступенями, не прев ышающими 5% нормального давления, при котором производится срез, причем каждая последующая ступень нагрузки передается после достижения условной стабилизации, за которую принимают деформацию, не превышающ ую 0,01 мм в мин; горизонтальное перемещение фиксируется с точностью 0,01 мм через 10 сек для быстрого, 30 сек – ускоренного и 2 мин для замедленного и медленного сдвигов.

6.95. За сопротивление образца грунта срезу τ принимается максимальное значение сопротивления сдвигу, найденное на графике сопротивление сдвигу – горизонтальная деформация. Если сопротивление сдвигу возрастает монотонно, то принимается значение, соответствующее деформации 3,5 мм.

6.96. После окончания опыта для каждого образца определяют плотность после опыта и из плоскости среза отбирают пробы для определения влажности из верхней и нижней частей срезанного образца.

6.97. Обработка результатов заключается в построении графиков зависимостей сопротивлений сдвигу от горизонтальной деформации и нормального давления. Сопротивления сдвигу наносят и записывают с учетом поправки на трение в приборе, величины поправок находят по тарировочной кривой.

Таблица 20

Схема выбора нагрузки предварительного уплотнения

№ п/п	Характеристика грунта	Особенности проектируемых сооружений	Нагрузка предварительного уплотнения
1	2	3	4
1	Ненабухающие водонасыщенные	Нагрузка от веса сооружения не превышает нагрузки начала сжатия грунта; грунт в основании не консолидируется	Без уплотнения
2	То же	Нагрузка от веса сооружения превышает нагрузку начала сжатия, основная часть осадки проходит в эксплуатационный период	Без уплотнения для получения характеристик прочности, отвечающих строительному периоду и с уплотнением под нагрузкой от всего сооружения для эксплуатационного периода
3	То же	То же, но основная часть осадки проходит в строительный период	С уплотнением под нагрузкой, соответствующей весу сооружения
4	То же, неводонасыщенный	Нагрузка, при которой начинается уменьшение влажности грунта, не превышает нагрузку от веса сооружения	Выбирается в соответствии с п.п.1-3
5	То же	Нагрузка, при которой начинается уменьшение влажности грунта, больше нагрузки от веса сооружения	

Продолжение табл. 20

1	2	3	4
6	Набухающие	Быстрая замена веса грунта, вынутого из котлована, весом сооружения	Уплотнение под нагрузкой, соответствующей весу сооружения, в условиях возможного набухания грунта
7	То же	Медленная замена веса грунта, вынутого из котлована, весом сооружения	Уплотнение под нагрузкой, соответствующей весу сооружения, после свободного набухания грунта

Таблица 21

Рекомендации по применению некоторых схем испытаний на сдвиг глинистых пород
(по различным ведомственным материалам с дополнениями и изменениями)

Цифровой код	Наименование схемы испытаний	Рекомендуемая область применения	
		по грунтам	по особенностям проектируемых сооружений
1	2	3	4
1211	Быстрый сдвиг без предварительной подготовки	Илы, супеси, суглинки, глины текучепластичной и текучей консистенции, не выдавливающиеся в зазор срезывателя	К концу строительства не ожидается полная консолидация грунтов основания, возможно быстрое загружение основания: крупнопанельное строительство, скоростная отсыпка насыпи, нефтебаки, элеваторы, силосы и т.д.; отсутствует внешняя пригрузка: выемки, карьеры и т.д.
1212	Ускоренный сдвиг без предварительной подготовки	Глинистые грунты с естественной влажностью в пределах $W_p < W < W_p + 0{,}25 J_p$, когда по результатам ускоренного сдвига получаются более низкие значения прочностных показателей, чем при быстром сдвиге	То же для других случаев при изысканиях на ранних стадиях для предварительной оценки прочности грунтов Для оценки прочностных свойств грунтов в начальной стадии строительства

Продолжение табл. 21

1	2	3	4
3112	Ускоренный сдвиг с ограниченным набуханием	Набухающие грунты	Здания и сооружения, нагрузка от которых не превышает давления набухания
4112	Ускоренный сдвиг с возможностью свободного набухания	Набухающие грунты	Оценка прочности грунтов в котлованах и выемках
2212	Ускоренный сдвиг с дополнительным насыщением водой	Глинистые породы с неполным водонасыщением, просадочные грунты, когда после полного промачивания конечная влажность превышает W_p на 0,01-0,02	Оценка прочности пород в котлованах и откосах, а также для всех случаев схемы быстрого сдвига, если по ускоренному сдвигу получаются более низкие значения показателей прочности. Для зданий и сооружений на просадочных грунтах с целью учета снижения прочности при промачивании
1213, 1223	Замедленный сдвиг без предварительной подготовки	Глинистые породы с полным водоносыщением, $W \leqslant W_p$, просадочные грунты в естественном состоянии	Здания и сооружения, к концу строительства которых ожидается практически полная консолидация грунтов основания. Нагрузка от веса сооружений меньше нагрузки начала сжатия грунтов. Не ожидается изменение степени водонасыщения грунтов основания. В основании сооружений допускаются ограниченные деформации

Продолжение табл. 21

1	2	3	4
2213, 2223	Замедленный сдвиг с дополнительным насыщением водой	Глинистые породы с неполным водонасыщением (степень влажности менее 0,8) в случаях, когда их полная влагоемкость близка к влажности на границе раскатывания; просадочные грунты в стадии послепросадочных деформаций, если $B < 0,5$	То же, возможно изменение влажности грунтов основания от естественных или искусственных факторов
5213, 5223	Замедленный сдвиг с предварительным уплотнением (набуханием) под одной нагрузкой при полном водонасыщении	Глинистые породы с $B<0,5$, а также в мягкопластичном и текучепластичном состоянии (уплотнение производится малыми нагрузками), выдавливающиеся в зазор срезывателя	Здания и сооружения, нагрузка от которых превышает нагрузку начала сжатия, к концу строительства ожидается полная консолидация грунтов основания

Продолжение табл. 21

1	2	3	4
1224	Медленный сдвиг без предварительной подготовки	Глинистые породы с полным водонасыщением, либо глинистые породы неводонасыщенные в полутвердом и твердом состояниях, просадочные грунты в естественном состоянии	Ответственные здания и сооружения, к концу строительства которых ожидается полная консолидация грунтов основания, для которых допускаются ограниченные деформации при длительной эксплуатации. Здания и сооружения, для которых необходимо учитывать явления ползучести грунтов. Необходимость получения эталонных характеристик для сравнения результатов по различным схемам
3224	Медленный сдвиг с предварительным уплотнением (или набуханием) под одной нагрузкой при полном водонасыщении	Тонкодисперсные глинистые породы в различных состояниях	

Примечания. 1. Возможны и другие варианты схем, моделирующие работу оснований зданий и сооружений.

2. Подготовка с предварительным уплотнением под нагрузками, действующими при сдвиге, рекомендуется только в особых случаях при необходимости учета различной уплотняемости на разных ступенях нормальных давлений.

6.98. Вычисление значений $tg\varphi$ и С производится способом наименьших квадратов, результаты лабораторных определений сопровождаются полным описанием схемы опыта, номенклатурным и визуальным описанием грунта в целом и плоскости среза, характеристик физических свойств до и после среза, а также различными замечаниями, выявленными при производстве опыта.

Определение прочности в приборах трехосного сжатия

6.99. Прочностные характеристики грунтов определяются в стабилометрах типа А.

В приборах типа А образец грунта подвергается всестороннему давлению и добавочному осевому (вертикальному).

К наиболее распространенным приборам типа А относятся стабилометры, изготовляемые *ЛИИЖТом*, *ЦНИИСом*, ДИИТом.

6.100. Испытания по определению прочностных характеристик грунтов в стабилометрах проводят по различным схемам, большинство из которых совпадает со схемами испытаний грунтов на срезных приборах

Неконсолидированно- недренированное испытание проводят при постоянном давлении в камере. Разрушение образца производится в результате увеличения вертикального давления.

Время испытания составляет 5-10 минут.

Консолидированно - дренированное испытание проводят при малых скоростях деформации грунта (0,01 мм в минуту).

Консолидированно - недренированное испытание проводят с обжатием образца грунта всесторонним давлением, допуская при этом отток воды из пор грунта.

Во время приложения дополнительного вертикального давления дренирование отсутствует.

6.101. Для определения прочностных характеристик проводят серию испытаний при различных соотношениях главных напряжений, доводя образец до разрушения.

Условие прочности грунта выражается через значения наибольшего σ_1, и наименьшего σ_3, главных напряжений в момент разрушения образца.

6.102. Графически зависимость между главными напряжениями и касательными представляется в виде кругов предельных напряжений (кругов Мора) (рис. 20).

На оси абсцисс откладываются значения главных напряжений σ_1 и σ_3 в момент разрушения образца после каждого испытания. На их разности как на диаметре строится окружность. Угол внутреннего трения определяется как угол наклона касательной к предельным кругам к оси абсцисс и сцепление - как отрезок, отсекаемый продолжением касательной на оси ординат.

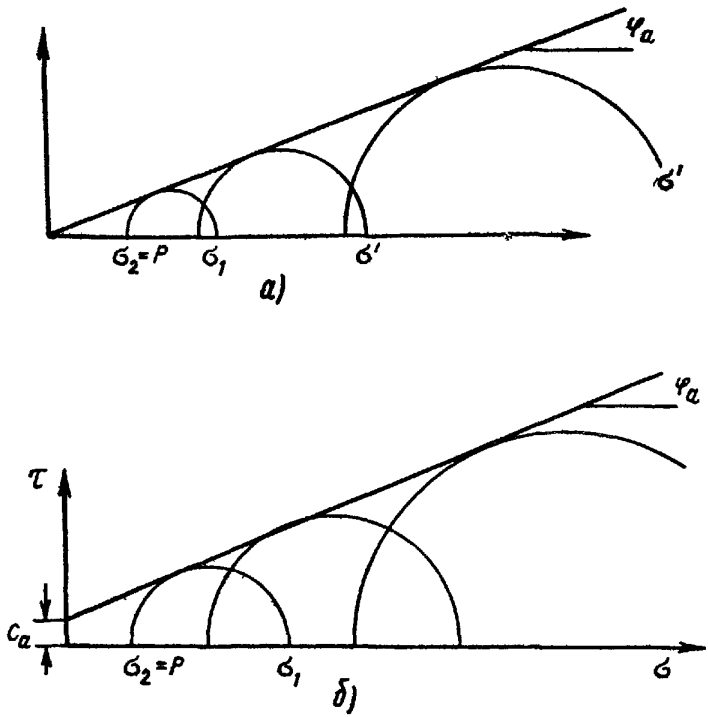


Рис. 20. Круги напряжений Мора

6.103. Кроме того, параметры сдвига – сцепление и угол внутреннего трения – могут быть вычислены аналитически:

$$tg\varphi = \frac{A-1}{2\sqrt{A}}; \quad C_0 = \frac{\sigma_0}{2\sqrt{A}}; \quad \varphi = 2arctg\sqrt{A};$$

$$A = \frac{n\sum_1^n \sigma_1\sigma_2 - \sum_1^n \sigma_1 \sum_1^n \sigma_3}{n\sum_1^n \sigma_3^2 - (\sum_1^n \sigma_3)^2}.$$

Метод пенетрации

6.104. Пенетрацией называется метод исследования свойств грунтов путем определения сопротивления грунтов внедрению твердого наконечника.

В качестве наконечника для пенетрационных испытаний глинистых грунтов рекомендуется использовать конус с углом раскрытия в 30° (конус Бойченко, Ребиндера).

6.105. Испытания проводят на образцах ненарушенной и нарушенной структуры. Размеры образцов берутся не менее 3-4 см по высоте и 7-10 см по ширине.

Испытания грунтовых паст проводят в кольце диаметром не менее 7 см.

6.106. Вдавливание конуса заданной нагрузкой производят возрастающими ступенями, с замером соответствующих глубин погружения конуса.

Величины ступеней нагрузок на конус выбирают в зависимости от консистенции испытуемого грунта: для грунтов текучей консистенции 0,001-0,01 МПа; текучепластичной – 0,01-0,02; мягкопластичной – 0,02-0,05; тугопластичной – 0,05-0,08; полутвердой – 0,1. *МПа*

Проводят не менее двух параллельных испытаний.

6.107. Удельное сопротивление пенетрации P_n вычисляется по формуле

$$P_n = \frac{P}{h^2},$$

где P – усилие пенетрации,

h – глубина погружения конуса.

6.108. Глинистые грунты по удельному сопротивлению пенетрации P_n в МПа подразделяются согласно табл. 8 СНиП П-15-74.

Чувствительность грунта определяется отношением

$$\frac{\text{Рп ненарушенной}}{\text{Рп нарушенной}}$$

Наименование глинистых грунтов по удельному сопротивлению пенетрации	Сопротивление пенетрации $P_п$, МПа
Очень прочные	$P_п \geq 0,2$
Прочные	$0,2 > P_п \geq 0,1$
Средней прочности	$0,1 > P_п \geq 0,05$
Слабые	$P_п < 0,05$

Определение угла внутреннего трения песчаных грунтов по углу естественного откоса

6.109. Для ориентировочного представления об угле внутреннего трения песчаных грунтов производят определение угла естественного откоса.

Углом естественного откоса называется предельный угол наклона откоса, при котором грунт в откосе находится в устойчивом состоянии.

Угол естественного откоса определяется в воздушно-сухом состоянии и под водой.

Для определения угла естественного откоса рекомендуется использовать прибор, аналогичный конструкции Литвиновского прибора больших размеров.

ЛИТЕРАТУРА

Абелев М.Ю. Слабые водонасыщенные грунты как основания сооружений. М., Стройиздат, 1973.

ГОСТ 5180-75. Грунты. Метод лабораторного определения влажности.

ГОСТ 5180-64. Грунты. Метод лабораторного определения удельного веса.

ГОСТ 5182-64. Грунты. Метод лабораторного определения объемного веса.

ГОСТ 5183-64. Грунты. Метод лабораторного определения границы текучести.

ГОСТ 5184-64. Грунты. Метод лабораторного определения границы раскатывания.

ГОСТ 12536-67. Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) состава.

ГОСТ 12248-66. Грунты. Метод лабораторного определения сопротивления срезу песчаных и глинистых грунтов на срезных приборах в условиях завершенной консолидации.

ГОСТ 12071-72. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.

ГОСТ 11305-65. Торф. Метод определения содержания влаги.

ГОСТ 10650-65. Торф. Метод определения степени разложения.

ГОСТ 17245-71. Грунты. Метод лабораторного определения временного сопротивления при одноосном сжатии.

Горлова А.Р. О методе определения усадки глинистого грунта. Информационный бюллетень ЦТИСИЗ, М., Стройиздат, 1975, № 3.

Дашко Р.Э., Каган А.А. О выборе методики лабораторных исследований сопротивления сдвигу глинистых пород при их использовании в строительных целях. Труды Гидропроекта, № 27(12), 1972.

Инструкция по определению деформационных и прочностных характеристик просадочных грунтов в лабораторных условиях. (Проект). НИИОСП, 1973.

Инструкция по проведению гранулометрического анализа грунтов ускоренным методом. Мин с/х СССР, Гипроводхоз, 1957.

Инструкция по эксплуатации стабилометра СБ-ЦТИСИЗ. Госстрой РСФСР, Стройизыскания, 1974

Крутов В.И., Рабинович И.Г. О методике лабораторного определения деформационных и прочностных характеристик просадочных грунтов. Информационный бюллетень ЦТИСИЗ, М., Стройиздат, 1975, № 2.

Ломтадзе В.Л. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород. Л., "Недра" 1972.

Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. М., изд. "Высшая школа", 1968.

Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород I и II том. Изд. МГУ, 1968

Методическое пособие по лабораторному изучению физико-механических свойств грунтов при инженерно-геологических изысканиях. М., Фундаментпроект, 1972.

Методические указания по испытанию грунтов на сдвиг с многоточечным приложением нормальных нагрузок. ИМД-41-75. Госстрой РСФСР, М., 1975.

Предложения по методам определения строительных свойств засоленных грунтов. НИИОСП 1974.

Рекомендации по лабораторному определению физических и механических свойств глинистых грунтов при производстве инженерных изысканий. Главпромстройиздат М., 1968

Рекомендации по лабораторным методам определения гранулометрического состава и физико-механических свойств песков. ПНИИИС, М., 1974.

Рекомендации по лабораторным методам определения характеристик набухающих грунтов. НИИОСП, Стройиздат, М., 1974.

Руководство по исследованию грунтов с повышенным содержанием органических веществ. ВНМД 02-72. Госстрой РСФСР, Росглавниистройпроект.

Руководство по применению стабилометров в изыскательских организациях. М., Госстрой РСФСР, ЦТИСИЗ, 1971.

Руководство по геотехническому контролю при производстве земляных работ. ЦНИИОМТП. М., Стройиздат, 1974.

Руководство по лабораторному определению деформационных и прочностных характеристик просадочных грунтов. НИИОСП, Стройиздат, М., 1975

Месчан С.Р. Физико-механические свойства грунтов и их определение в лабораторных условиях. М.,"Недра", 1975.

Строительные нормы и правила часть П, глава 15 (СНиП П-15-74).

Солодухин М.А. Инженерно-геологические изыскания для промышленного и гражданского строительства. М.,"Недра",1975.

Сергеев Е.М. Грунтоведение. Издание третье. Изд.МГУ, 1971.

Семенский Е.П. Физика торфа. М.,"Недра", 1966.

Цытович Н.А. Механика грунтов. М., Стройиздат, 1963.

Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М.,"Недра", 1975.

Указания по контролю за качеством производства и по приемке инженерно-геологических работ. ВНМД 18-73. Росглавниистройпроект.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ПРАВИЛА

ведения лабораторной документации

1. Лабораторные журналы используются установленной формы. Листы журнала нумеруются.

Результаты лабораторных исследований заносятся в журнал только чернилами.

2. Запрещается:

а) вырывать листы из журналов;

б) пропускать листы при записи наблюдения;

в) вести черновики и переписывать с них записи наблюдений в журнал;

г) писать цифру по цифре, надпись по надписи;

д) пользоваться конторской резинкой.

3. Записи наблюдений в лабораторных журналах и ведомостях производятся одновременно с отчетом; цифры и буквы записей должны быть четкими и аккуратными.

4. Ошибочные записи аккуратно зачеркиваются, а правильные значения записываются в новой строке или над старой записью.

5. В каждом лабораторном журнале, ведомости, графике должны быть заполнены все графы.

6. Выполненные работы сопровождаются четкой подписью исполнителя.

7. Сводные ведомости физико-механических свойств грунтов, графики и другие ведомости результатов исследований должны быть проверены "во вторую руку" и иметь подписи исполнителя и проверяющего, а также дату их испол - нения.

Госстрой РСФСР
Росглавниистройпроект

_____ ТИСИЗ

_____ лаборатория

Отдел .....
Задание .....
Лаб. № .....

Форма № 42

ТАБЛИЦА

результатов определения физических свойств пород

Объект _____

№ п/п	Наимен. выработки N	Гранулометрический состав, %; размер частиц, мм											Пределы пластич., (долях един)			Природн. влажн. доли единиц	Плотность, г/см³		Плотн. минер. части г/см³		Коэффиц. гигроскопичности доли един.	Степень влажн. доли единицы	Показатель консистен. доли един.	Потери при прокаливан. доли един	Угол естеств. отк. (град)		Пристандартном уплотн.		Коэффициент фильтр. м/сутки	Плотн. грунта г/см³ при этом $K_{уп}$	Классификация грунта по СНиП II-15-74
		Глубина отбора образца, м	Галька	Гравий, дресва	Песок					Пыль		Ипина	Текучести	Раскаты вания	Число пластич.		Ненарушен структуры	Скелета грунта	Экспериментальная	По таблице						Сухой	Под водой	Оптимальн. влажн. %	Максимальн. плотн. г/см³			
			>10	10-2	2-1	1-05	0,5-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005																			

Госстрой РСФСР
РОСГЛАВНИИСТРОЙПРОЕКТ

_____ ТИСИЗ

_____ лаборатория

ВЕДОМОСТЬ

образцов грунтов, направляемых на лабораторные исследования

Объект _____

Задание № _____
Лабораторный № объекта _____
Заказчик _____
Срок выпуска отчета по графику _____
Срок оконч. лаборатор. работ

№ Ном. п-п	Лабораторный №	Наименование выработки	№ выработки	Глубина отбора образца	Вид образца монолит, в парафине в боксе, в гильзе, с нарушенной структурой	Наименование грунта	Гранисостав	Естественная влажность	Плотность	Плотность минеральной части	Пластичность	Консистенция	Коэффициент пористости	Степень влажности	Коэффициент фильтрации	Угол естественного откоса	Потери при промывании	Набухание	Размокание	Сопротивление сдвигу	Просадочность	Компрессионное испытание: с замачиванием	Компрессионное испытание: без замачивания	Вскипание от HCl	Химический состав	Коэффициент выветрелости крупнообломочн.	Время сопротивления одноосному сжатию	Коэффициент размягчаемости	Степень выветрелости скальных пород. Удельное сопротивление пенетрации	Примечание

Госстрой РСФСР
Росглавнистройпроект

_____ ТИСИЗ

_____ лаборатория

ПАСПОРТ

лабораторных исследований образца № _____
лаборатории

Объект _____

Сооружение _____ Глубина отбора образца: _____

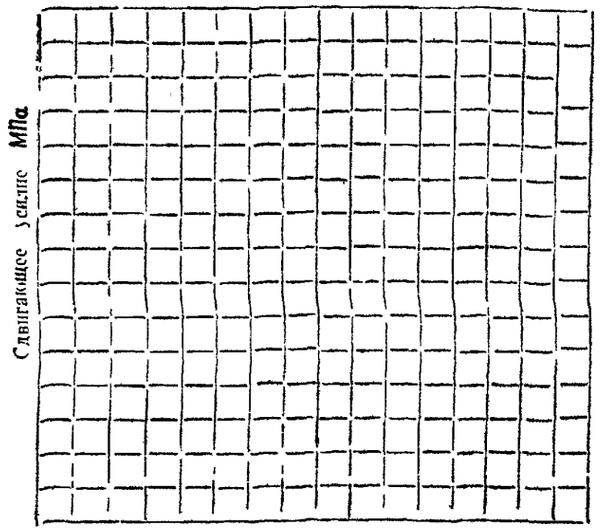
Скважина (шурф) № _____ Уровень грунтовых вод _____

Геологический индекс _____ Структура _____

Наименование грунта

Гранулометрический состав в %								Влажность, доли единицы	Плотность, г/см³	Плотность скелета	Плотность минеральной части г/см³		Коэфф. пористости		Степень влажности	Пределы пластичности, в долях единицы			Показатель консистенции	Потеря от прокаливания
Более 2 мм	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,10	0,10—0,05	0,05—0,005	<0,005									тек	раск	число		

Результаты испытания грунта на сдвиг



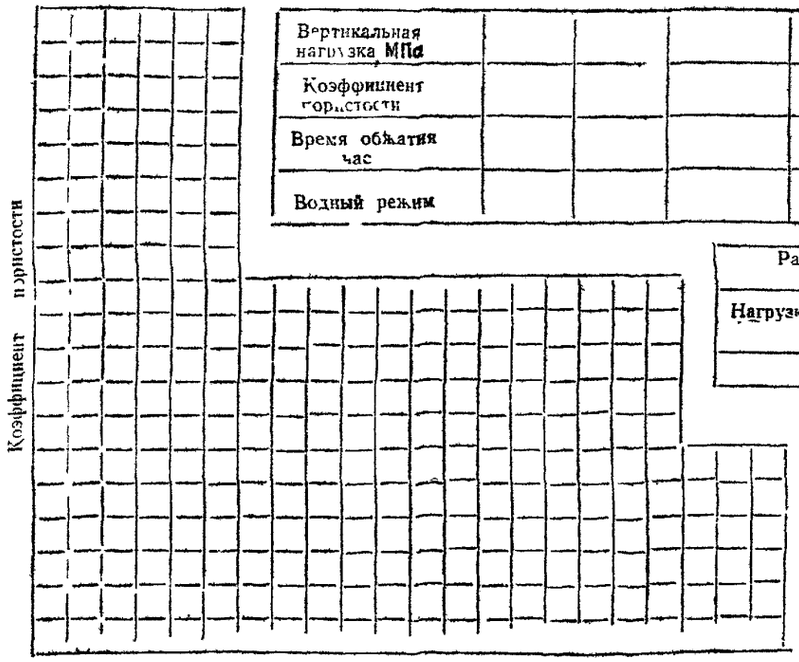
Конструкция прибора	
Высота образца, см	
Площадь сдвига, см²	
Водный режим	
при уплотнении	
при сдвиге	
Приложение сдвигающего усилия	

Вертикальная нагрузка Р кГ/кв. см. лаборатория

Вертикальная нагрузка при		Продолжит.		Сдвигающее усилие, МПа	Угол сдвига	Влажность, доли единицы		Показатели сдвига		
уплот.	сдвиге	уплотн. в час	сдвига в мин			до опыта	после сдвига	коэф. внутр. трения	угол внутрен. трения	сцепление, МПа

Результаты испытания образца на компрессионное сжатие

Высота _____ см; Площадь _____ см²



Вертикальная нагрузка МПа						
Коэффициент пористости						
Время обжатия час						
Водный режим						

Расчетное природное состояние грунта	
Нагрузка Рб, МПа	Коэффициент пористости, Еб

После опыта	
Плотность, г/см³	Влажность, доли единицы

Вертикальная нагрузка, МПа

= _____ =

= _____ МПа

Исполнитель: _____ (_____)
подпись фамилия

Нач. лаборатории: _____ (_____)
подпись фамилия

«____» _____ 197 г.

Суворов, зак 5246—30000-5

Госстрой РСФСР
Росглавинистройпроект

_____ ТИСИЗ

_____ лаборатория

ТАБЛИЦА

физико-механических свойств грунтов

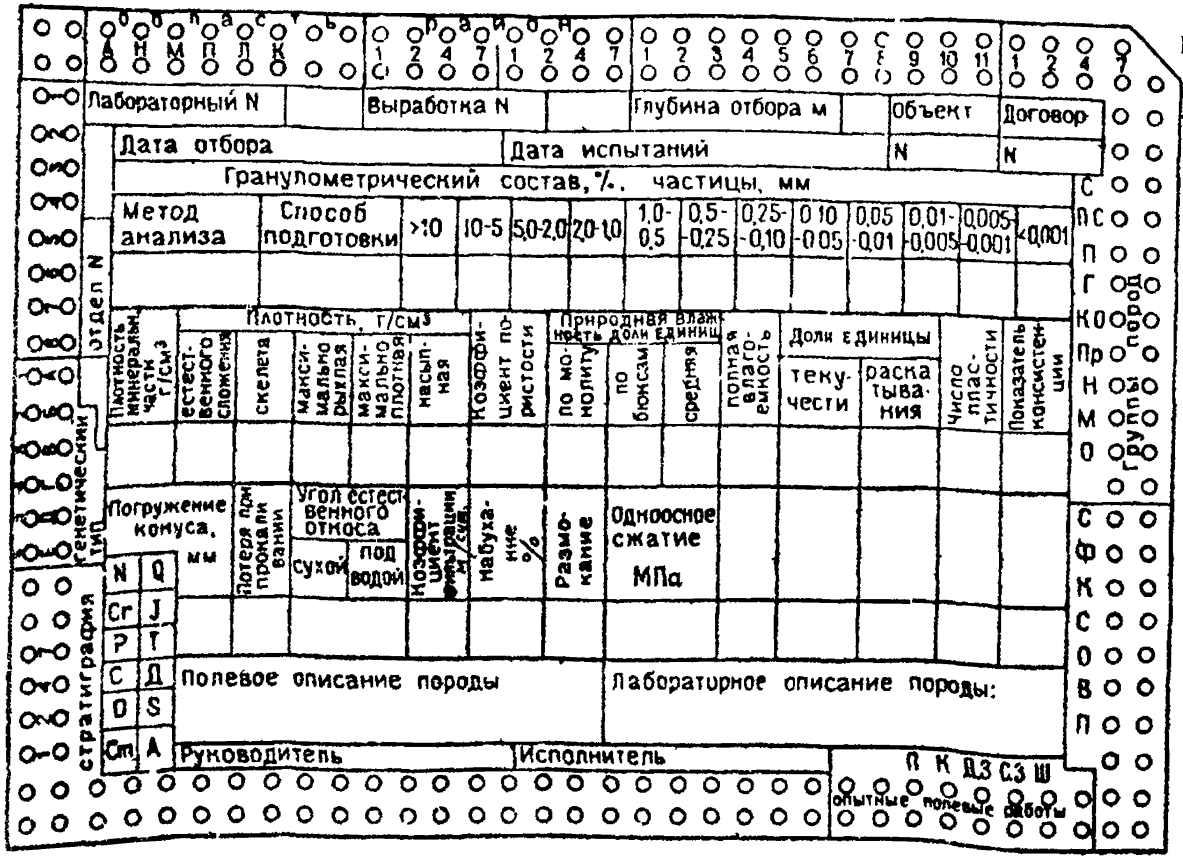
Задание №_____

Объект _____

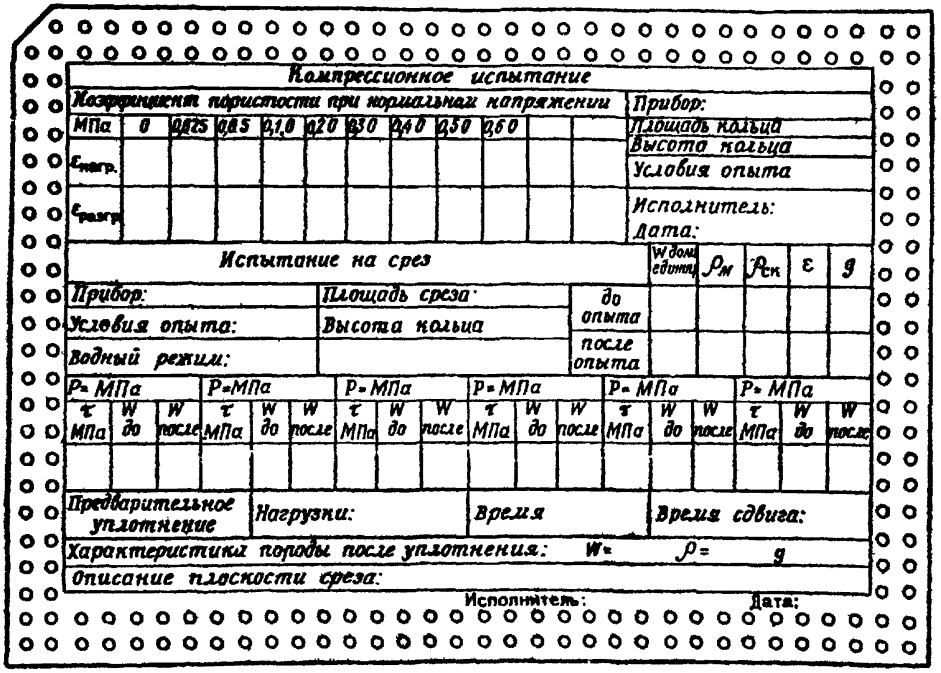
_____

Лабораторный номер	№№ пп и на разрезах	№№ выработок	Глубина взятия образца, м	Гранулометрический состав, %; размер частиц, мм									Предел пластичности доли единицы			Природная влажность в долях единицы	Плотность г/см³		Плотность минеральной части г/см³		Коэффициент пористости доли единицы	Степень влажности доли единицы	Полная полная консистенция доли единицы	Потери при прокаливании доли единицы	Угол внутреннего трения в градус	Сцепление МПа	Коэффициент сжимаемости в см²/кгс на кривых	Модуль общей деформации МПа в интервале нагрузок	Угол естественного откоса в градус.		Пределы гигроскопической влажности		Коэффициент фильтрации, м/сутки	Плотность грунта г/см³ при этом коэффициент фильтрации			Классификация грунта по СНиП II-15-74
				Галька	Гравий	Дресва	Песок				Пыль								Экспериментальная	по таблице									Сухих	Под водой	Оптимальная влажность, %	Максимальная плотность						
				более 10	10	2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005	Текучести	Раскатывания	Число пластичности		природной влажности	Скелета																				

Приложение 4



Перфокарта результатов лабораторных исследований (лицевая сторона)



Компрессионное испытание

Коэффициент пористости при нормальных напряжениях

МПа	0	0,025	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60		
$\varepsilon_{нагр.}$											
$\varepsilon_{разгр}$											

Прибор:
Площадь кольца
Высота кольца
Условия опыта
Исполнитель:
Дата:

Испытание на срез

	W доли ед.	$\rho_м$	$\rho_{ск}$	ε	g
до опыта					
после опыта					

Прибор:
Площадь среза:
Условия опыта:
Высота кольца
Водный режим:

P= МПа			P= МПа			P= МПа			P= МПа			P= МПа			P= МПа		
τ МПа	W до	W после	τ МПа	W до	W после	τ МПа	W до	W после	τ МПа	W до	W после	τ МПа	W до	W после	τ МПа	W до	W после

Предварительное уплотнение
Нагрузки:
Время
Время сдвига:

Характеристики породы после уплотнения: W= ρ= g

Описание плоскости среза:

Исполнитель: Дата:

Перфокарта результатов лабораторных исследований (обратная сторона)

СПИСОК

измерительных средств в грунтовых лабораториях, подлежащих государственной поверке

№ п/п	Наименование	Тип, марка	Срок периодичности государственной поверки
1	Индикатор часового типа	Тип 1 0–10 мм, 0,01 мм ГОСТ 577–60	Один раз в год
2	Манометр МА–4 (в комплекте к стабилометру)	0 – 4 кгс/см^2	То же
3	Манометр МА–10 (в комплекте к стабилометру	0 – 10 кгс/см^2	"
4	Манометр МТ–4 (в комплекте к прессу)	0 – 250кгс/см^2	"
5	Вакуумметр (в комплекте к вакуум-сушильному шкафу	0 – (–1) кгс/см^2 ГОСТ 8625–65	"
6	Весы настольные циферблатные	РН–10 ц 13У ГОСТ 13882–68	Один раз в 2 года
7	Весы лабораторные квадратные	ВЛК–500/10	То же
8	Весы лабораторные равноплечие	ВЛР–200	"
9	Весы технические	Т–200	"
10	Весы технические	Т–1000	"
11	Гири технические	Г–4–211, 10	"
12	Гири технические	Г–4–1111, 10	"
13	Динамометр образцовый (в комплекте к сдвиговому прибору ВСВ–25)	ДОСМ–3–02	"
14	Динамометр образцовый (в комплекте к сдвиговому прибору ВСВ–25)	ДОСМ–3–1	"

№ п/п	Наименование	Тип, марка	Срок периодичности государственной поверки
15	Колориметр	для РН	Один раз в 2 года
16	Потенциометр	АПУ-2	То же
17	Секундомер	С-1-2 ГОСТ 5072-62	"
18	Штангенциркуль	0 - 125 мм	Один раз в в год в зависимости от эксплуатации
19	Термопара для муфельной печи		Один раз в 2 года
20	Селеновый выпрямитель.	ВСА-5А-К	То же

Таблица интервалов времени для взятия проб суспензии в зависимости от температуры

Плотность минеральной части грунта	Диаметр частиц в мм	Глубина взятия проб в см	Температура суспензии в градусах								
			10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0
	0,05	10	1м	56с	54с	49с	46с	44с	41с	39с	37с
2,60	0,01	10	24м54с	23м12с	21м45с	20м25с	19м14с	18м06с	17м06с	16м09с	15м17с
	0,005	10	1ч40м	1ч30м	1ч22м	1ч17м	1ч12м	1ч08м	1ч05м	1ч01м	
	0,05	10	58с	54с	51с	48с	45с	42с	40с	37с	36с
2,65	0,01	10	24м07с	22м30с	21м06с	19м48с	18м39с	17м33с	16м35с	15м39с	14м50с
	0,005	10	1ч36м	1ч30м	1ч24м	1ч24м	1ч19м	1ч15м	1ч10м	1ч06м	59м19с
	0,05	10	56с	52с	49с	46с	44с	41с	39с	36с	34с
2,70	0,01	10	23м24с	21м50с	20м28с	19м13с	18м06с	17м02с	16м06с	15м12с	14м23с
	0,005	10	1ч34м	1ч27м	1ч22м	1ч17м	1ч12м	1ч08м	1ч04м	1ч02м	57м34с
	0,05	10	54с	51с	48с	45с	43с	40с	38с	36с	34с
2,75	0,01	10	22м44с	21м13с	19м53с	18м40с	17м35с	16м33с	15м38с	14м46с	13м59с
	0,005	10	1ч31м	1ч25м	1ч20м	1ч15м	1ч10м	1ч06м	1ч03м	59м04с	55м56с
	0,05	10	53с	50с	46с	44с	41с	39с	36с	34с	33с
2,80	0,01	10	22м06с	20м39с	19м20с	18м09с	17м06с	16м08с	15м12с	14м21с	13м35с
	0,005	10	1ч26м	1ч23м	1ч17м	1ч13м	1ч08м	1ч04м	1ч01м	57м25с	54м22с

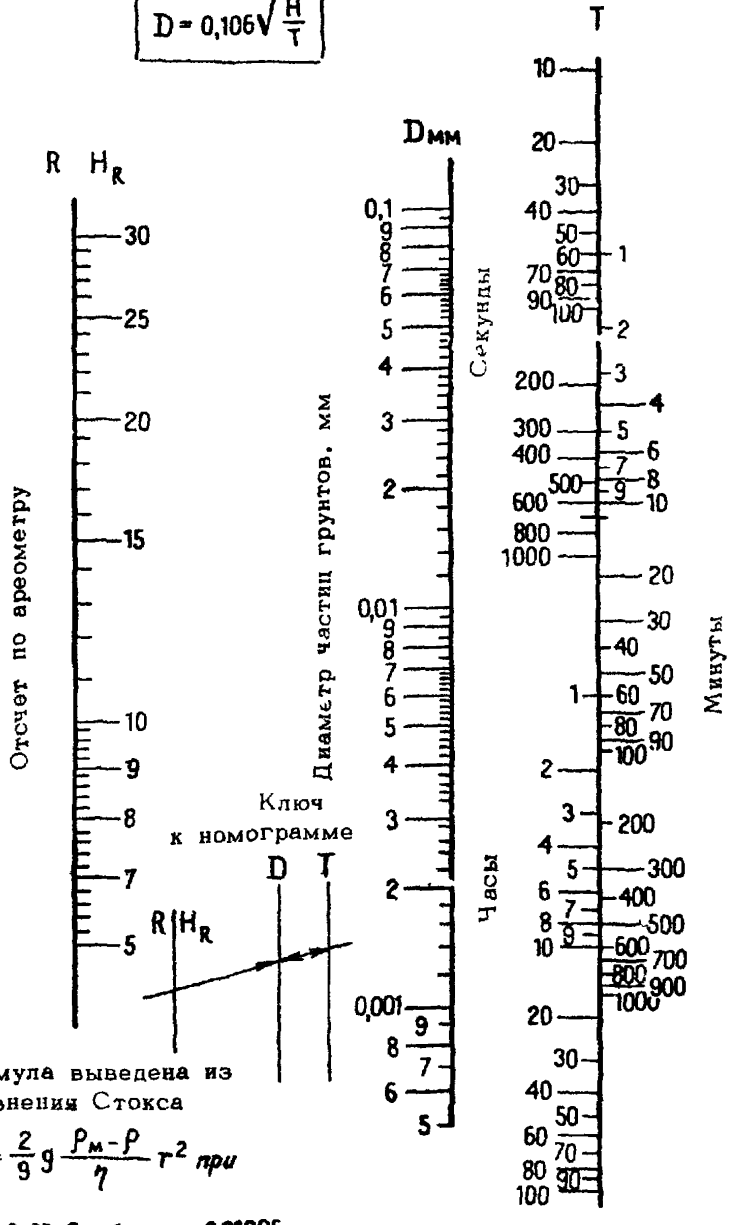
Таблица величины коэффициента МН при различных значениях плотности минеральной части грунта и объема взятой для анализа суспензии

Плотность минеральной части грунта	Объем взятой в анализ суспензии						
	700	800	900	I000	II00	I200	I300
2,05	I3,07	I5,63	I7,00	I9,53	2I,50	23,43	25,40
2,I0	I3,37	I5,30	I7,20	I9,09	2I,00	22,9I	24,82
2,I5	I3,09	I4,96	I6,83	I8,60	20,56	22,43	24,30
2,20	I2,82	I4,65	I6,50	I8,33	20,I6	22,00	23,83
2,25	I2,60	I4,39	I6,I9	I8,0	I9,80	2I,60	23,40
2,30	I2,39	I4,I5	I5,9I	I7,69	I9,46	2I,23	23,00
2,35	I2,I9	I3,93	I5,69	I7,4I	I9,I4	20,88	22,62
2,40	I2,00	I3,7I	I5,42	I7,I3	I8,84	20,56	22,27
2,45	II,82	I3,52	I5,20	I6,00	I8,59	20,28	2I,07
2,50	II,67	I3,34	I5,00	I6,67	I8,34	20,00	2I,66
2,55	II,5I	I3,I6	I4,8I	I6,45	I8,09	I9,74	2I,38
2,60	II,38	I3,00	I4,62	I6,25	I7,88	I9,50	2I,I2
2,65	II,24	I2,85	I4,45	I6,06	I7,67	I9,27	20,88
2,70	II,I2	I2,70	I4,29	I5,88	I7,47	I9,06	20,64
2,75	II,00	I2,57	I4,I4	I5,7I	I7,28	I8,85	20,42
2,80	I0,89	I2,49	I4,00	I5,56	I7,I2	I8,67	20,22
2,85	I0,78	I2,32	I3,86	I5,40	I6,94	I8,47	20,02
2,90	I0,69	I2,22	I3,75	I5,27	I6,80	I8,3I	I9,85
2,95	I0,59	I2,I0	I3,6I	I5,I3	I6,63	I8,I4	I9,65
3,00	I0,50	I2,00	I3,50	I5,00	I6,50	I8,00	I9,50
3,05	I0,40	II,89	I3,39	I4,88	I6,35	I7,85	I9,30

Ареометр №
поправка на
мениск
Для цилиндра

Номограмма для вычисления диаметра частиц при гранулометрическом анализе грунтов ареометром по формуле

$$D = 0{,}106\sqrt{\frac{H}{T}}$$



формула выведена из уравнения Стокса

$$U = \frac{2}{9} g \frac{\rho_м - \rho}{\eta} r^2 \text{ при}$$

$\rho_м = 2{,}65$ $\rho_0 = 1$ и $\eta = 0{,}01005$

Пример тарировки ареометра

№ ареометра

Расстояние H_R в см для каждого тысячного деления шкалы ареометра вычисляют по формуле

$$H_R = \frac{N - M}{N} l + (a + b),$$

где N – число тысячных делений по шкале ареометра от деления 1,030 до 1,000, т.е. 30;

M – число тысячных делений по шкале ареометра от деления 1,000 до поверхности суспензии;

l – длина шкалы ареометра от деления 1,030 до деления 1,000 см = 12 см;

a – расстояние от деления шкалы ареометра 1,030 до центра водоизмещения луковицы ареометра = 8,4 см;

b – высота подъема воды в цилиндре при погружении ареометра до центра водоизмещения луковицы, см.

Диаметр цилиндра для тарировки ареометра = 6 см.

Площадь сечения цилиндра – 28,2 $см^2$ (F).

$$V_0 = 965 - 900 = 65 \text{ см}^3.$$

V_0 – объем луковицы ареометра, полученный по замерам уровня воды в тарировочном цилиндре.

$$b = \frac{65}{2 \times 28{,}2} = 1{,}15.$$

$$\frac{l}{N} = \frac{12{,}0}{30} = 0{,}40; \quad a - b = 8{,}40 - 1{,}15 = 7{,}25.$$

Расчет величины H

M	R	$\frac{N-M}{N} l$	$a - b$	M_R
0	0	12,00	7,25	19,25
1	1	11,60	7,25	18,85
2	2	11,20	7,25	18,45
3	3	10,80	7,25	18,05
4	4	10,40	7,25	17,65
5	5	10,00	7,25	17,25
6	6	9,60	7,25	16,85
7	7	9,20	7,25	16,45
8	8	8,80	7,25	16,05
9	9	8,40	7,25	15,65
10	10	8,00	7,25	15,25

Приложение 10

Таблица скорости падения частиц в воде по Стоксу

Плотность минеральной части грунта	Диаметр частиц, мм	Скорость падения частиц в воде в мм/с при температуре воды $0^{\circ}C$									
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
2,65	0,05	0,0041	2,0557	2,1080	2,1609	2,2144	2,2683	2,3224	2,3768	2,4311	2,4878
	0,01	0,0802	0,0822	0,0848	0,0864	0,0886	0,0907	0,0929	0,0951	0,0972	0,0995
	0,005	0,0200	0,0206	0,0211	0,0216	0,0221	0,0227	0,0232	0,0238	0,0243	0,0249
	0,001	0,00080	0,00082	0,000848	0,00086	0,00089	0,00091	0,00093	0,00095	0,00097	0,00099
2,70	0,05	2,0648	2,1180	2,1719	2,2264	2,2825	2,3371	2,3929	2,4488	2,5047	2,5632
	0,01	0,0826	0,0847	0,0869	0,0891	0,0913	0,0935	0,0957	0,0979	0,1002	0,1025
	0,005	0,0206	0,0212	0,0217	0,0223	0,0228	0,0234	0,0239	0,0245	0,0251	0,0256
	0,001	0,00083	0,00085	0,00087	0,00089	0,00091	0,00093	0,00096	0,00098	0,00100	0,00103

РАСЧЕТ

времени падения частиц глинистого грунта, при температуре 20°С

ареометр оттарирован согласно ГОСТ 12536-67, плотность твердых частиц равна 2,70 г/см³

Время находят по формуле $t = \frac{S}{V}$.

Для частиц диаметром менее 0,05 мм путь S соответствует H_{R_6}, т.е. 16,85 см (приложение 9), а скорость V по таблице Стокса (приложение 10) равна 2,2815 мм/с. Время t равно $\frac{168,5}{2,2815} = 73,8$ с $\approx$ 74 с.

Для частиц диаметром менее 0,01 мм путь соответствует H_{R_4}, т.е. 17,65 мм, скорость - 0,0913 мм/с, время будет равно $\frac{176,5}{0,0913} = 1933,1$ с или 32 мин и 13 с.

Для частиц диаметром менее 0,005 мм $H_{R_2} = 18,45$ см, скорость - 0,228 мм/с.

Время отсчета равно $\frac{184,5}{0,0228} = 8092,1$ с или 2 ч 14мин.

Группа	Минералы	Показатель преломления n_g	Показатель преломления n_p	Двупреломление $n_g - n_p$	Характерные особенности	Форма агрегатов ориентированных частиц
Монтмориллонита	монтмориллонит	1,479—1,527	1,470—1,517	0,014—0,040	зеленоватый; низкое преломление при сравнительно высоком двупреломлении	веероподная, сноповидная, параллельно-волокнистая или спиральная
	нонтронит	1,548—1,640 обычно 1,565—1,600	1,539—1,600	0,020—0,040		
	сапонит	1,510—1,525	1,480—1,490	0,010—0,030 и выше		
	гекторит	1,510	1,485	0,031		
	β-керолит	1,513—1,516		низкое		
Палыгорскита	сепиолит	1,505—1,548	1,490—1,520	среднее 0,009—0,020	волокнистый	
	палыгорскит	1,527—1,550	1,500—1,513	0,015—0,030		
Хлорита	хлориты (Mg)	1,542—1,613		низкое (изотропные) до 0,013	зеленые, желтоватые	близки по форме к гидрослюдистым, но часто обнаруживают волокнистое строение
	хлориты (Mg, Fe)	1,580—1,638				
	хлориты (Fe)	1,642—1,680				

Оптические свойства глинистых минералов и форма агрегатов ориентированных частиц (по В.Т.Фролову, 1984 г.)

Продолжение приложения 12

Группа	Минералы	Показатель преломления n_g	Показатель преломления n_p	Двупреломление $n_g - n_p$	Характерные особенности	Форма агрегатов ориентированных частиц
Аллофана	аллофан	1,468—1,512; часто 1,430		изотропен		
Каолинита	каолинит	1,560—1,570 часто 1,566	1,533—1,563 часто 1,560	0,007		более или менее изометричная или удлиненная, но с неровными краями
	галлуазит	1,507—1,550		0,002, почти изотропен		
Гидрослюды	гидромусковит	1,550—1,580		⩾0,010 до 0,030, яркие, белые, желтые, красные цвета интерференции		удлиненная щепковидная или веретеновидная, иногда более длинные стороны параллельны
	гидробиотит	1,582—1,670	1,545—1,620	такое же и выше	плеохроирует; бурый, зеленый и зеленовато-синий, желтоватый до бесцветного; плеохроирует желтоватый	
	глауконит	1,570—1,660	1,545—1,630	0,020—0,030		
	вермикулит	1,545—1,585	1,525—1,561	0,015—0,036		

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТОВ БЕЗ УРАВНИВАНИЯ ТЕМПЕРАТУР ВОДЫ И СУСПЕНЗИИ

В соответствии с ГОСТ 5181-64 плотность минеральной части грунтов определяется по формуле

$$\rho_м = \frac{q_1}{q_1 + q_2 - q_3}\,\rho_в \ г/см^3, \qquad (1)$$

где q_1 – масса навески грунта, высушенного до постоянного веса при температуре 105°С;

q_2 – масса пикнометра с дистиллированной водой, долитой до метки;

q_3 – масса пикнометра с навеской и водой, долитой до метки после предварительного удаления воздуха из навески кипячением или вакуумированием;

$\rho_в$ – плотность воды, принимаемая равной 1 при 4°С.

Массы q_2 и q_3 должны определяться при одинаковой температуре. Уравнивание температур занимает много времени и по техническим причинам не всегда выполняется точно. Элементарный анализ показывает, что разница в температурах более 0,5°С дает ошибку выше допустимой.

Однако, можно обойтись без уравнивания температур, определяя плотность по формуле

$$\rho_м = \frac{q_1}{q_1 + q_2 - q_3 + \Delta q_2 V \cdot \rho_в}\,\rho_в \ г/см^3, \qquad (2)$$

где Δq_2 – температурная поправка, зависящая от температуры t_2, при которой определялось q_2 и от температуры t_3, при которой определялось q_3;

V – объем пикнометра в $см^3$.

Поправка Δq_2 принимается по таблице (обратить внимание на знак !).

Для облегчения и ускорения работы пикнометры рекомендуется заранее протарировать, т.е. определить массу пикнометра и массу пикнометра с водой q_2 при любой (желательно близкой к комнатной) температуре. Эта операция выполняется один раз в 3-6 месяцев. Записи ведутся по форме № 1.

Таблица температурных поправок

Брать со знаком − \ Брать со знаком +	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
15		016	033	050	070	080	III	I33	156	181	206	232	260	288	317	347
16	016		017	035	054	074	095	II8	141	165	191	217	244	272	301	332
17	033	017		018	037	057	078	101	124	148	174	200	227	255	284	314
18	050	035	0,I8		019	039	060	083	106	130	156	182	209	237	266	296
19	070	054	037	019		020	041	064	087	III	I36	I63	190	218	247	277
20	090	074	057	039	020		021	043	067	091	116	142	170	198	227	257
21	III	095	078	060	041	021		022	046	070	095	I2I	I48	177	206	236
22	I33	II8	101	083	064	043	022		023	047	073	099	126	154	184	214
23	156	141	124	106	087	067	046	023		024	049	076	103	131	160	190
24	181	165	148	130	III	091	070	047	024		025	051	079	107	136	166
25	206	191	174	156	136	116	095	073	049	025		026	053	081	III	141
26	232	217	200	182	163	142	121	099	076	051	026		027	055	084	115
27	260	244	227	209	190	170	148	126	103	079	053	027		028	058	087
28	288	272	255	237	218	198	177	154	131	107	081	055	028		029	059
29	317	301	284	266	247	227	206	184	160	136	III	084	058	029		030
30	347	332	314	296	277	257	236	214	190	166	141	115	087	059	030	

Брать со знаком +

Примечание. Табличные значения поправок умножить на 10^{-5}.

ЖУРНАЛ

определения плотности минеральной части грунтов

Лабораторный № образца	№ пикнометра	Масса пикнометра, г	Объем пикнометра, $см^3$	Масса пикнометра с воздушно-сухим грунтом, г	Масса воздушно-сухого грунта, г	Гигроскопическая влажность (влажность воздушно-сухого грунта) доли единицы	Масса сухого грунта, г	Масса пикнометра с водой при температуре t_2, г	Температура воды при определении q_2 C°	Масса пикнометра с грунтом и водой при температуре t_3, г	Температура суспензии при определении q_3 C°	Поправка, г	Плотность минеральных частиц, $г/см^3$
		q	V	q_0	$q_1' = q_0 - q$	W_r	$q = \frac{q_1'}{1+W_r}$	q_2	t_2	q_3	t_3	$\Delta q_2 V$	По формуле (2)
184	11	39,28	250	76,10	36,82	3,4	35,61	289,42	19	311,89	18	+0,05	2,70
184	12	41,16	250	78,97	36,21	3,4	33,08	291,19	19	311,96	21	-0,10	2,71

Примечания. 1. Графы 3,4,5 и 10 заполняются по данным журнала тарировки.
2. В случае работы с грунтом, высушенным до постоянной массы при температуре 100-105° С, графы 7 и 8 не заполняются q_1' будет равно q_1.

ЖУРНАЛ ТАРИРОВКИ ПИКНОМЕТРОВ

Форма 1

№ пикнометров	Объем пикнометров, $см^3$	Масса пикнометров, г	Масса пикнометров с водой при температуре t_2	Температура воды при определении q_2	Дата тарировки
11	250	39,28	289,42	19	20/1-67
12	250	41,16	291,19	19	20/1-67

После этого определение плотности сводится к двум операциям: определению массы пикнометра с грунтом; определени о массы пикнометра с навеской и водой q_3 после удаления воздуха, с замером температуры t_3 и вычислению плотности по формуле (2).

Гранулометрическая классификация глинистых и песчаных пород (по В.В.Охотину, 1940г.)

Наименование грунта	Содержание частиц, %		
	глинистых <0,005мм	пылеватых 0,005–0,05 мм	песчаных 0,05–2,0мм
Глина	>30	–	–
Суглинок тяжелый	30–20	–	–
Суглинок средний	20–15	–	Больше, чем пылеватых
Суглинок средний, пылеватый	20–15	Больше, чем песчаных	–
Суглинок легкий	15–10	–	Больше, чем пылеватых
Суглинок пылеватый	15–10	Больше, чем песчаных	–
Супесь тяжелая	10–6	–	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 2–0,25мм
Супесь мелкозернистая	10–6	–	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 0,25–0,05мм
Супесь тяжелая, пылеватая	10–6	Больше, чем песчаных	–
Супесь легкая	6–3	–	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 2–0,25мм
Супесь легкая, мелкозернистая	6–3	–	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 0,25–0,05мм
Супесь легкая, пылеватая	6–3	Больше, чем песчаных	–

Продолжение прилож. 14

Наименование грунта	Содержание частиц, %		
	глинистых <0,005мм*	пылеватых 0,005*-0,05 мм	песчаных 0,05-2,0 мм
Песок	< 3	-	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 2-0,25мм
Песок мелкозернистый	< 3	-	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 0,25-0,05 мм

*) При пользовании шкалой Стокса за глинистые частицы принимаются частицы < 0,002 мм.

Виды крупнообломочных и песчаных грунтов (по СНиП П-15-74)

Виды крупнообломочных и песчаных грунтов	Распределение частиц по крупности в % от массы воздушно-сухого грунта
А. Крупнообломочные	
Валунный грунт (при преобладании неокатанных частиц – глыбовый)	Масса частиц крупнее 200 мм составляет более 50%
Галечниковый грунт (при преобладании неокатанных частиц – щебенистый)	Масса частиц крупнее 10мм составляет более 50%
Гравийный грунт (при преобладании неокатанных частиц – дресвяный)	Масса частиц крупнее 2мм составляет более 50%
Б. Песчаные	
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 75% и более
Песок пылеватый	Масса частиц крупнее 0,1 мм составляет менее 75%

Примечание. Для установления наименования грунта последовательно суммируются проценты содержания частиц исследуемого грунта: сначала – крупнее 200 мм, затем – крупнее 10 мм, далее – крупнее 2 мм и т.д. Наименование грунта принимается по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в таблице.

Классификация глинистых грунтов для проектирования и сооружения земляного полотна

(по СНиП II-Д. 5-72)

Наименование глинистых грунтов	Показатели		Наименование разновидностей глинистых грунтов
	число пластичности	содержание песчаных частиц, % от массы сухого грунта	
Супесь	1-7	50	Супесь легкая, крупная
	1-7	50	Супесь легкая
	1-7	20-50	Супесь пылеватая
	1-7	20	Супесь тяжелая, пылеватая
Суглинок	7-12	40	Суглинок легкий
	7-12	40	Суглинок легкий, пылеватый
	12-17	40	Суглинок тяжелый
	12-17	40	Суглинок тяжелый, пылеватый
Глина	17-27	40	Глина песчанистая
	17-27	Не нормируют	Глина пылеватая (полужирная)
	27	То же	Глина жирная

Примечания. 1. При содержании частиц грунта крупнее 2 мм в количестве 20-50% наименование грунта дополняют словом "гравелистый" при окатанных частицах и "щебнистый" при остроребер-ных неокатанных частицах.

2. Для супесей легких крупных указано содержание песчаных частиц размером 2-0,25 мм, для остальных грунтов - размером 2-0,05 мм.

3. Несцементированные обломочные грунты классифицируются по СНиП II.15-74.

Приложение 17

Единицы физических величин СИ

Наименование величин	Единицы				Соотношение единиц
	старые единицы СИ				
	наименование	обозначение	наименование	обозначение	
Масса (вес)	грамм килограмм	г кг	килограмм	кг	
Нагрузка	килограмм-сила	кгс	ньютон	н	1 кгс ≈ 9,8Н ≈ 10Н
Давление	килограмм-сила на квадратный сантиметр	кгс/см^2	паскаль	Па	1 кгс/см^2 ≈ 9,8 ≈ 10^4Па 10^5Па ≈ 0,1 МПа, где: МПа - мегапаскаль, равный 10^6Па

Обозначения плотности минеральной части и плотности грунта допускаются в старых единицах - г/см^3.

ПРЕЙСКУРАНТ-ПЕРЕЧЕНЬ

основных лабораторных приборов и оборудования для исследования инженерно-строительных свойств грунтов в ТИСИЗах

№ п/п	Наименование оборудования	Марка, тип	Цена в руб.
I	Компрессионные приборы с площадью кольца 60 $см^2$, настенные и настольные	Гидропроект К-1М	243
2	Сдвиговой прибор с площадью кольца 40 $см^2$	Гидропроект ГГП-30	382
3	Сдвиговой прибор с площадью кольца 40 $см^2$ настольный	Гидропроект ВСВ-25	
4	Прибор для предварительного уплотнения грунтов перед сдвигом	Гидропроект ГГП-29	500
5	Прибор трехосного сжатия	ЦТБ ЦНИИС ЛИИЖТ и другие	800-1000
6	Полевая экспресс-лаборатория для исследования грунтов	ПЛЛ-9 ЛИГП-1	180
7	Прибор для измельчения проб грунта (грунтовая мельница)	МГ-1 ИПП-2	400
8	Прибор для механического рассеивания грунтов (сита)	Гидропроект	251
9	Вакуумный сушильный шкаф	РШ-0035	246

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 3

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И СТРОЕНИЯ ГРУНТОВ

Макроскопическое изучение и описание грунтов . . 15

Гранулометрический (зерновой) состав грунтов . . 15

Ситовой метод 17
Пипеточный метод 17
Ареометрический метод 19
Комбинированный метод 21

Минеральный состав грунтов
Иммерсионный метод 23
Метод окрашивания 24

Минеральный состав карбонатных пород 28

Определение карбонатности карбонатно-глинистых пород 28

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Влажность грунтов. 34

Плотность грунтов. 34

Плотность минеральной части грунта 40

Пористость грунтов. 44

Пределы пластичности грунтов 45

Оптимальная влажность и максимальная плотность сложения песчаных и глинистых грунтов .. 47

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Размокание глинистых грунтов 53

Набухание глинистых грунтов 55

Усадка глинистых грунтов 57

Полная влагоемкость грунтов 59

Максимальная молекулярная влагоемкость песчаных и глинистых грунтов 59

Водопроницаемость грунтов 60

Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов 62

Определение коэффициента фильтрации связных грунтов 65

Липкость глинистых грунтов 71

Капиллярные свойства грунтов 73

5 КОРРОЗИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ГРУНТОВ . . . 73

6. ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Компрессионные испытания 74

Консолидация 80

Просадочность 83

Испытания грунтов в приборах трехосного сжатия 86

Испытания в приборах одноосного сжатия . . . 90

Определение прочности песчаных и глинистых грунтов 91

Определение прочности в приборах трехосного сжатия 105

Метод пенетрации 107

Определение угла внутреннего трения песчаных грунтов по углу естественного откоса 108

Литература 108

ПРИЛОЖЕНИЯ 111

Опечатки к зак. 323.

Стр.	Напечатано	Следует читать
89, п.6.5?	$a = \frac{i_{вк} - i_{вн}}{\sigma_{вк} - \sigma_{вн}} (1 + i_0)$ см²/н	$a = \frac{i_{вк} - i_{вн}}{\sigma_{вк} - \sigma_{вн}}$ см²/кГ
Там же	$E = \frac{\sigma_{вк} - \sigma_{вн}}{i_{вк} - i_{вн}} \cdot \beta$ МПа	$E = \frac{\sigma_{вк} - \sigma_{вн}}{i_{вк} - i_{вн}} (1 + e_0) \beta$ МПа
"	i_0 – коэффициент пористости начальный	e_0 – коэффициент пористости начальный

gost.e-ecolog.ru