

83666

Ахмадхон Рузиев

# СТРОИТЕЛЬНАЯ ГЕОТЕХНИКА И ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

ЧАСТЬ 1  
ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ  
ИСПЫТАНИЯ И РАСЧЕТЫ

СТРОИТЕЛЬНАЯ ГЕОТЕХНИКА И ГЕОТЕХНОЛОГИЯ





**Ахмадхон Рузиев**

# **СТРОИТЕЛЬНАЯ ГЕОТЕХНИКА И ГЕОТЕХНОЛОГИЯ**

## **ЧАСТЬ 1 ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ И РАСЧЕТЫ**

Рекомендовано  
министерством образования и науки РТ  
в качестве учебного пособия для студентов  
строительных и горно-геологических специальностей  
высших учебных заведений

**ДУШАНБЕ – 2014**





**УДК 624.131.37 (07)**  
**ББК 26.329.1**

**Рецензенты:**

1. Кафедра «Геотехника» Санкт-Петербургского архитектурно-строительного Университета (зав. кафедрой, доктор технических наук, профессор Мангушев Р.А.)
2. Кафедра «Геотехника и экология в строительстве» Белорусского национального технического Университета (зав. кафедрой, доктор технических наук, профессор Никитенко М.И.)
3. Доктор технических наук, профессор Комилов О.К. (Таджикский аграрный Университет им. Ш. Шотемур)
4. Кандидат геолого-минералогических наук, доцент Фозилов М.М. (Таджикский национальный Университет)

**Ахмадхон Рузиев.**

**Строительная геотехника и геотехнология.**  
**Часть I. Геотехнические испытания и расчеты.**  
**Учебное пособие. – Душанбе: 2014. – 244 с.**

В работе приводятся понятия и определения «грунт» и «грунтовый массив», классификация грунтов по ГОСТ, а также рекомендации по отбору, упаковке и хранению образцов грунтов. Работа содержит геотехнические испытания и расчеты, необходимые для оценки грунтов и грунтового массива как основания зданий и сооружений, как среда для размещения подземных сооружений и как материал самого сооружения. Учебное пособие разработано как с учетом требований межгосударственных стандартов стран СНГ, так и с учетом требований международных стандартов по геотехнике.

Учебное пособие предназначено для студентов и магистрантов инженерно-строительных, горно-геологических, транспортно - дорожных, шахтостроительных, гидротехнических специальностей ВУЗов, а также для широкого круга специалистов - геотехников, занимающихся исследованием и оценкой свойств горных пород.

# О Г Л А В Л Е Н И Е

<b>Предисловие.....</b>	<b>11</b>
<b>Введение.....</b>	<b>14</b>
<b>Раздел 1. СОСТАВ И СВОЙСТВА ГРУНТОВ</b>	
<b>1. Грунты: понятия, определения и состав.....</b>	<b>20</b>
1.1. Понятия «грунт» и «грунтовый массив».....	20
1.2. Термины и определения.....	24
1.3. Составные элементы грунтов.....	28
1.4. Структурные связи и строение грунтов.....	31
<b>2. Классификация грунтов.....</b>	<b>33</b>
2.1. Скальные грунты.....	33
2.2. Нескальные (дисперсные) грунты.....	37
2.3. Способы визуального определения вида грунтов.....	47
<b>3. Грунты как основания, среда и материал.....</b>	<b>50</b>
3.1. Скальные грунты.....	50
3.2. Нескальные (дисперсные) грунты.....	51
3.2.1. Крупнообломочные грунты.....	52
3.2.2. Песчаные грунты.....	53
3.2.3. Пылевато-глинистые грунты.....	55
3.2.4. Лёссовые грунты.....	58
3.2.5. Почвы.....	60
<b>4. Отбор, упаковка и хранение образцов грунтов.....</b>	<b>61</b>
4.1. Общие положения.....	61
4.2. Отбор образцов, проб и монолитов грунта.....	62
4.3. Упаковка монолитов и проб грунта.....	67
4.4. Транспортировка и хранение образцов грунта.....	68
4.5. Разделка монолита грунта на образцы и пробы.....	69
<b>5. Физические свойства и классификационные показатели грунтов.....</b>	<b>70</b>
5.1. Физические величины и система единиц.....	70
5.2. Грунт как трёхфазная среда.....	71
5.3. Плотность и удельный вес.....	73

5.4. Влажность грунтов .....	78
5.5. Нормативные и расчетные характеристики грунтов.....	79
5.6. Пористость, коэффициент пористости, степень влажности.....	82
5.7. Пластичность и консистенция связных грунтов.....	84
5.8. Характеристики, определяемые расчетным путем.....	86
5.9. Классификационные показатели грунтов.....	88
5.10. Гранулометрический (зерновой) состав грунтов.....	89
5.11. Плотность сложения песчаных грунтов.....	92
5.12. Оптимальная влажность и максимальная плотность....	93
5.13. Расчетное сопротивление грунта основания.....	98
<b>6. Водно - и теплофизические свойства грунтов.....</b>	<b>100</b>
6.1. Водно-физические свойства.....	100
6.1.1. Водоустойчивость.....	100
6.1.2. Влагоемкость.....	102
6.1.3. Капиллярность и водопроницаемость.....	103
6.1.4. Водопоглощение и водонасыщение .....	104
6.2. Теплофизические свойства грунтов.....	107
<b>7. Механические и технологические свойства грунтов....</b>	<b>109</b>
7.1. Характеристики деформируемости.....	109
7.1.1. Нескальные (дисперсные) грунты.....	109
7.1.2. Скальные грунты.....	117
7.2. Характеристики прочности грунтов.....	118
7.2.1. Нескальные (дисперсные) грунты.....	118
7.2.2. Скальные грунты.....	123
7.3. Горнотехнологические свойства скальных грунтов.....	126
<b>8. Просадочность лессовых грунтов.....</b>	<b>131</b>
8.1. Предварительная оценка просадочности грунтов.....	131
8.2. Характеристики просадочности лессовых грунтов.....	132
8.2.1. Относительная просадочность .....	132
8.2.2. Начальное просадочное давление.....	134
8.2.3. Начальная просадочная влажность.....	135
8.3. Расчет просадок основания.....	136

## Раздел 2. ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ И РАСЧЕТЫ

### 9. Физико-механические характеристики

дисперсных грунтов.....	139
9.1. Определение плотности грунта методом непосредственных измерений.....	139
9.2. Определение плотности грунта методом режущего кольца (ГОСТ 5180 - 84).....	140
9.3. Определение плотности грунта методом парафинирования (ГОСТ 5180-84).....	142
9.4. Определение плотности грунта методом взвешивания в воде (ГОСТ 5180-84).....	144
9.5. Определение плотности грунта методом замещения объема (метод лунки) (ГОСТ 28514-90).....	149
9.6. Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом (ГОСТ 5180 - 84).....	153
9.7. Определение весовой влажности грунта термостатным методом (ГОСТ 5180 -84).....	155
9.8. Упрощённо - комбинированная методика определения плотности-влажности грунта.....	157
9.9. Определение влажности грунта на границе текучести (ГОСТ 5180-84).....	159
9.10. Определение влажности грунта на границе пластичности (раскатывания) (ГОСТ 5180-84).....	160
9.11. Определение гранулометрического состава песчаного грунта ситовым методом (ГОСТ 12536-79).....	163
9.12. Плотность сложения песчаного грунта .....	167
9.13. Определение расчетного сопротивления грунта основания.....	168
9.14. Определение оптимальной влажности и максимальной плотности грунта методом стандартного уплотнения (ГОСТ 22733-2002).....	173
9.15. Определение размокаемости грунта .....	178
9.16. Определение коэффициента фильтрации песка в универсальной трубке КФ-00М.....	182
9.17. Определение показателей деформируемости грунта....	186



9.18. Определение показателей сопротивления грунта сдвигу методом прямого среза.....	191
9.19. Оценка просадочности лессового грунта.....	193
9.19.1. Предварительная оценка просадочности.....	193
9.19.2. Определение характеристик просадочности по данным компрессионного испытания.....	195
<b>10. Характеристики скальных пород.....</b>	<b>201</b>
10.1. Определение предела прочности на сжатие .....	201
10.2. Определение показателя снижения прочности горной породы при насыщении водой.....	203
<b>11. Характеристики щебня и гравия (ГОСТ 8269.0-97).....</b>	<b>205</b>
11.1. Общие положения.....	205
11.2. Требования и условия испытаний .....	206
11.3. Отбор проб .....	208
11.4. Зерновой состав (ГОСТ 12536-79) .....	210
11.5. Содержание пылевидных и глинистых частиц.....	211
11.6. Содержание зерен пластинчатой и игловатой форм.....	213
11.7. Определение дробимости.....	214
11.8. Определение истираемости в полочном барабане.....	217
11.9. Определение морозостойкости .....	219
11.10. Определение водопоглощения .....	221
<b>12. Гармонизация с требованиями международных стандартов.....</b>	<b>223</b>
12.1. Общие положения.....	223
12.2. Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов.....	225
12.3. Классификация тонкодисперсных грунтов.....	226
<b>Список использованной литературы .....</b>	<b>241</b>
<b>Ссылка на нормативные стандарты.....</b>	<b>243</b>
<b>Ссылка на международные стандарты .....</b>	<b>244</b>

## Символы и обозначения

Символы и обозначения приняты в соответствии с ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» и международными стандартами на геотехнические исследования и испытания грунтов.

Символ	Наименование символа (русский)	Наименование символа (англ.)
$\rho$	Плотность грунта	Soil density (bulk density)
$\rho_d$	Плотность сухого грунта	Dry soil density
$\rho_s$	Плотность частиц грунта	Density of solids
$\rho_{sat}$	Плотность грунта при полном водонасыщении	Saturated density
$\rho_w$	Плотность воды	Density of water
$\gamma$	Удельный вес грунта	Unit weight of soil
$\gamma_d$	Удельный вес сухого грунта	Dry unit weight
$\gamma_s$	Удельный вес частиц грунта	Unit weight of solids
$\gamma_w$	Удельный вес воды	Unit weight of water
$\gamma_{sb}$	Удельный вес грунта во взвешенном состоянии	Buoyant unit weight
$\gamma_{sat}$	Удельный вес грунта при полном водонасыщении	Saturated unit weight of soil
$w$	Влажность (весовая)	Water content
$w_{sat}$	Полная влагоемкость	Water content at full saturation
$n$	Пористость (объем пор)	Porosity (volume of voids)
$e$	Коэффициент пористости	Void ratio
$e_{max}$	Коэффициент пористости песка в предельно-рыхлом состоянии	Maximum index void ratio
$e_{min}$	Коэффициент пористости песка в предельно-плотном состоянии	Minimum index void ratio
$I_D$	Степень плотности	Density index

$S_r$	Коэффициент водонасыщения	Degree of saturation
$w_L$	Влажность на границе текучести	Liquid limit
$w_p$	Влажность на границе пластичности (раскатывания)	Plastic limit
$I_p$	Число пластичности	Plasticity index
$I_L$	Показатель текучести	Liquidity index
$C_u$	Степень неоднородности гранулометрического состава	Uniformity coefficient
$W_{opt}$	Оптимальная влажность	Optimum water content
$\rho_{d max}$	Максимальная плотность сухого грунта	Maximum dry density
$k$	Коэффициент фильтрации	Coefficient of permeability
$m_0$	Коэффициент сжимаемости	Coefficient of compressibility
$m_v$	Коэффициент относительной сжимаемости	Coefficient of volume compressibility
$E$	Модуль упругости (Модуль Юнга)	Modulus of elasticity (Young's modulus)
$E_0$	Модуль деформации	Modulus of deformation
$\nu$	Коэффициент Пуассона	Poisson's ratio
$c$	Удельное сцепление	Unit cohesion
$\phi$	Угол внутреннего трения	Angle of shearing resistance
$tg\phi$	Коэффициент внутреннего трения	Coefficient of shearing resistance
$\sigma_{сж}$	Предел прочности на сжатие в образце	Tensile strength in uniaxial compression
$\sigma_{раст}$	Предел прочности на растяжение	Tensile strength in strain
$D_{sal}$	Степень засоленности грунта	Soil salinity degree
$K_{com}$	Коэффициент уплотнения	Coefficient of compaction

$f$	Коэффициент крепости по М.М. Протодяконову
$\varepsilon_{sl}$	Относительная просадочность
$p_{sl}$	Начальное просадочное давление
$w_{sl}$	Начальная просадочная влажность
$\varepsilon_{sw}$	Относительное набухание
$\lambda$	Коэффициент теплопроводности
$K_{wr}$	Коэффициент выветрелости скальных пород
$K_{so}$	Коэффициент размягчаемости скальных пород в воде
$K_{wrt}$	Коэффициент выветрелости крупнообломочных грунтов
$K_{ft}$	Коэффициент истираемости крупнообломочных грунтов
$R_{сж}$	Предел прочности на сжатие в массиве
$R_{раст}$	То же, на растяжение
$w_v$	Объемная влажность
$R$	Расчетное сопротивление грунта основания
$R_o$	То же, табличное
$\mu$	Коэффициент бокового давления грунта





## Ахмадхон Рузиев

Кандидат технических наук, доцент

Родился 24 марта 1951г в селе Сари-Чашма района Хамадони Хатлонской области Республики Таджикистан. В 1968 г поступил в Таджикский политехнический институт (ныне Таджикский Технический Университет им. академика М.С. Осими). В 1971г для продолжения учебы был направлен в Киевский инженерно-строительный институт (КИСИ), который окончил в 1973г по специальности ПГС.

С 1973г работает в Таджикском Техническом Университете им М.С. Осими. В 1984г защитил кандидатскую диссертацию по специальности 05.23.02 – «Подземные сооружения, основания и фундаменты». В 1987г получил ученое звание доцента по кафедре «Железобетонные конструкции, основания и фундаменты».

1994-1996гг. заведовал кафедрой «Железобетонные конструкции, основания и фундаменты». 1996 - 2004 гг. заведовал кафедрой «Подземные сооружения, основания и фундаменты». 2005-2008 гг. - доцент кафедры. С 2009г по настоящее время заведует кафедрой «Подземные сооружения, основания и фундаменты».

Читает курсы «Механика грунтов», «Основания и фундаменты», «Шахтное и подземное строительство», «Механика горных пород и горное давление». «Основания и фундаменты на лессовых просадочных грунтах», «Основания и фундаменты реконструируемых зданий». Является внештатным экспертом по геотехнике и фундаментостроению. Автор более 80 опубликованных научных и учебно-методических работ, в т.ч. СНиП РТ (МКС ЧТ).

**Научные интересы:** Строительная геотехника и геотехнология: проектирование и строительство на лессовых просадочных грунтах в сейсмических условиях; исследования уплотняемости грунтов при статических и динамических нагрузках; геотехнические испытания, расчеты, контроль и мониторинг в строительстве; оценка инженерно-геологических условий строительных площадок; оценка состояний оснований и фундаментов существующих зданий и сооружений.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Грунтоведение, как раздел инженерной геологии, и механика грунтов, как раздел общей геомеханики, совместно с курсом основания и фундаменты составляют особый цикл строительных дисциплин, предметом изучения которого являются горные породы (грунты) и грунтовый массив. Если конструкционные материалы изготавливаются так, чтобы они обладали заданными свойствами, то горные породы обладают природными, независимыми от желания человека, свойствами. Более того, если свойства конструкционных материалов практически постоянны, то свойства грунтов меняются в зависимости от изменения их состава, строения и состояния. Состав, строение и свойства грунтов зависят от условий их происхождения, образования и формирования и на каждой строительной площадке могут различаться, требуя каждый раз отдельного изучения.

Изучение физико-механических свойств грунтов является важной задачей при оценке инженерно-геологических условий участков строительства, трассы дорог и горных массивов. В свою очередь геотехническая оценка дается в зависимости от того, в каких целях будут использованы грунты: как основания зданий и сооружений; как среда для размещения различных подземных сооружений (вместилища); как материал для возведения земляных сооружений; как строительный материал или сырье для строительного производства. Во всех этих случаях оценка физико-механических и горно-технологических свойств грунтов (горных массивов) считается ответственной задачей, требуя от специалиста хороших знаний и опыта.

В строительной и горно-геологической практике известны сотни примеров, когда ошибочная оценка физико-механических свойств грунтов стала причиной аварий зданий и сооружений. Правильная оценка физико-механических свойств грунтов позволяет полнее использовать несущую способность грунтовых оснований, правильно выбрать технику и технологию производства горнопроходческих работ. Недооценка и

недоиспользование несущей способности грунтов основания приводит к необоснованному удорожанию строительства.

Достоверность определения физико-механических свойств грунтов в первую очередь зависит от уровня знания исследователя, его практического опыта и навыков. В этой области работают специалисты, имеющие инженерно-геологическое или инженерно-строительное образование, изучавшие в достаточном объеме и уровне такие дисциплины, как грунтоведение, механика грунтов, основания и фундаменты. Специалист в этой области должен владеть не только методами и методикой исследования грунтов, но и уметь правильно оценить, анализировать и систематизировать результаты этих исследований.

Знания и навыки по определению физико-механических свойств грунтов будущий специалист получает во время учебы в ВУЗах или специальных учебных курсах. Конечно, все это базируется на хороших знаниях по математике, без которых невозможно стать хорошим специалистом-исследователем. При изучении этих дисциплин важная роль отводится лабораторно-практическим занятиям, как обязательной и важной составной частью учебного процесса. До проведения лабораторных занятий студент изучает теоретический материал соответствующего раздела, осваивает методы и методику исследования физико-механических свойств горных пород. На лабораторных занятиях студент (слушатель), ознакомившись с необходимыми приборами и оборудованием, самостоятельно проводит эти лабораторные работы. Молодой специалист набирает опыта уже в процессе практической работы в этой области.

Учебное пособие содержит общие сведения о грунтах, их физико-механических, водно-физических и теплофизических свойствах, практически полный перечень геотехнических испытаний и расчетов, необходимых для оценки грунтов и грунтового массива с точки зрения как основания зданий и сооружений, как среда для размещения подземных сооружений и как строительный материал. Учебное пособие написано как с



учетом требований межгосударственных стандартов стран СНГ, так и с учетом требований международных стандартов по геотехнике. Пособие предназначено для студентов инженерно-строительных, транспортно-дорожных, шахтостроительных, гидротехнических, горно-геологических специальностей ВУЗов, а также для широкого круга специалистов-геотехников, занимающихся исследованием и оценкой свойств горных пород.

Автор выражает искреннюю благодарность рецензентам – докторам технических наук, профессорам: Мангушеву Р.А. Никитенко М.И. Комилову О.К., Усманову Р.А., кандидату геолого-минералогических наук, доценту Фозилову М. М. Автор также искренне признателен инженерам-геотехникам Федоровой Т. И. и Абдуллаеву А.У., сделавшим ценные замечания при просмотре рукописи книги.

Книга является первой попыткой автора в составлении учебного пособия для студентов и магистрантов высших учебных заведений. Естественно, она не лишена недостатков, и автор будет благодарен за все замечания и пожелания, которые просит направлять по адресу: г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10, Таджикский Технический Университет им академика М. С. Осими, кафедра «Подземные сооружения, основания и фундаменты».

Работа изложена на 244 стр., состоит из 2 разделов, 12 глав. Содержит таблиц-71, рисунков- 48, примеров расчета -38.

## ВВЕДЕНИЕ

Термины «геотехника» и «геотехнология» все шире используются в мировой научно-технической литературе и постепенно «внедряются» в строительное, дорожное и горное дело. Это связано, очевидно, с изменением названия Международного общества по механике грунтов и фундаментостроению на Международное общество по механике грунтов и геотехническому строительству. В последние годы именно в этом аспекте разрабатываются и перерабатываются СНиПы, стандарты и нормативные документы, касающиеся производства земляных работ, инженерно-геологических изысканий, оснований и фундаментов, строительной экологии и многое другое под общим термином «геотехника». Так, еще в 1990г был разработан ГОСТ 28514-90 (СТ СЭВ 6016-87) «Строительная геотехника».

В сложившейся практике за пределами бывшего Советского Союза «геотехника» - это давно укоренившийся термин, имеющий под собой многолетнюю историю и вполне определенный предмет, и методологию исследований. Зарубежные геотехники вполне успешно решают стоящие перед ними задачи и дают необходимую для обеспечения безопасного и надежного функционирования зданий и сооружений информацию. Задачи, решаемые геотехниками, те же, которые стоят перед нашими специалистами, в частности, грунтоведами, изыскателями, а также специалистами в области механики грунтов (горных пород), оснований и фундаментов.

При необходимой гармонизации с международной системой стандартов использование системы геотехнических показателей отнюдь не является новой проблемой. Она не требует включения в систему инженерных изысканий неких, никому не известных «инженерно-геотехнических изысканий». Даже нет необходимости, как предлагают некоторые изыскатели, называть их отдельным видом изыскательских работ. Просто надо иметь виду, что физико-механические и горно-технологические свойства горных пород (модуль

деформации, коэффициент фильтрации, угол внутреннего трения, сцепление и др.) носят название «геотехнические показатели грунтов». Эти важнейшие для строительства показатели грунтов имеют корни в грунтоведении и механике грунтов, которые являются составными частями соответственно инженерной геологии и геомеханики.

В практике фундаментостроения и инженерно-геологических изысканий бывшего СССР сложился устойчивый подход к решению задач проектирования строительных объектов, который был обеспечен вполне надлежащей и надежной геотехнической информацией. Существовавшая система нормативной технической документации в полной мере обеспечивала безопасность и надежность строительных объектов, многие из которых по своей грандиозности не уступают мировым аналогам. Этот опыт сегодня успешно используется в странах СНГ.

За последние 20-25 лет в инженерно-строительных и горно-геологических ВУЗах многих стран СНГ образовались новые кафедры под названием «геотехника». Однако суть от этого не изменилась - как успешно работали, так и работают на этих кафедрах специалисты по грунтоведению, механике грунтов, основаниям и фундаментам. Эти кафедры готовят — опять тех же инженеров-геологов-грунтоведов, инженеров-строителей со специализацией «механика грунтов, основания и фундаменты». Ни какая ВУЗовская кафедра не готовит специалистов — геотехников, так как в учебных планах горно-геологических и инженерно-строительных специальностей нет такой дисциплины, как «геотехника». Выходцы этих кафедр опять те же инженеры-геологи и инженеры-строители.

В настоящее время все более востребованными становятся специалисты в области грунтоведения, механики грунтов, оснований и фундаментов, обладающие знаниями о свойствах горных пород (грунтов), о негативных геологических процессах и явлениях. Эти знания, базируются на таких классических дисциплинах, как инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты.



Предметы и методология инженерной геологии и механики грунтов «узаконены» всем их фактическим научным опытом. А что же может быть предметом геотехники? Грунт, как горная порода — это предмет изучения грунтоведения, как составной части инженерной геологии. Грунт также является предметом изучения механики грунтов, но уже с позиций механики. Свойства грунтов изучаются методами грунтоведения и механики грунтов с помощью различных приборов и оборудования. Таким образом, у «геотехники», как «современной» науки о грунтах, предмет изучения, опять же, исследования и оценка свойств горных пород (грунтов) как оснований зданий и сооружений, как среды для размещения в них подземных сооружений, как материал самого сооружения.

Если же областью исследований «геотехники» считать зону взаимодействия сооружения с геологической средой, где как раз и проявляются «геотехнические показатели грунта», но ведь уже есть наука, как «подземные сооружения, основания и фундаменты». Если объект — это «подземное сооружение», то грунт — это среда для него. А если грунт является материалом самого сооружения, то его свойства выражаются физико-механическими характеристиками. Если же грунт рассматривается как основания сооружений, то эти задачи успешно решаются специалистами в области оснований и фундаментов (фундаментостроения).

Таким образом, раскрывая содержание и сущность термина «геотехника» приходим к мнению, что она как наука существует давно. Однако при необходимой интеграции и гармонизации в Международную систему стандартов строительства, нашим специалистам в области грунтоведения, инженерно-геологических изысканий, механики грунтов (горных пород), оснований и фундаментов «приходится» стать «геотехниками».

«Строительная геотехнология», как составная часть комплекса инженерно-строительных и горнопроходческих процессов, также является «современной» наукой — наукой о проблемах освоения подземного пространства. Термин

«строительная горная технология» или «строительная геотехнология» был введен еще академиком В. В. Ржевским [1]. По В. В. Ржевскому «Строительная геотехнология» - это совокупность знаний о закономерностях взаимодействия подземных сооружений с окружающими горными породами и технологическими процессами при их строительстве, эксплуатации, реконструкции и восстановлении, а также методах освоения подземного пространства. В отличие от «геотехники», «геотехнология» является учебной дисциплиной при подготовке специалистов по специальностям направления «горное дело» [1].

Главная задача строительной геотехнологии, как научной дисциплины, является разработка научных рекомендаций, обеспечивающих надежность, безопасность и эффективность реализации технических решений по строительству, реконструкции и восстановлению подземных сооружений (конструкций). В частности, «строительная геотехнология» дает знания об освоении подземного пространства, подземной экологии, о свайном фундаментастроении, обследовании и усилении оснований и фундаментов.

Предметом изучения «строительной геотехнологии» является процессы разработки горных пород, возведения подземных сооружений, а также взаимодействия конструкций подземных сооружений с массивом горных пород.

Геотехнология включает:

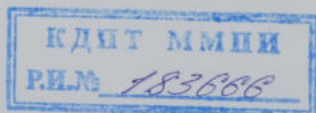
- методы проектирования и расчета конструкций подземных сооружений;

- способы обеспечения их прочности, устойчивости и долговечности;

- процессы, способы и методы строительства, реконструкции и восстановления подземных сооружений;

- способы защиты подземных сооружений от вредных природных и техногенных воздействий;

- методы организации и управления горно-строительными работами;





-методы и технические средства обеспечения безопасности работ и комфортности подземного пространства, как среды обитания человека;

-экологические последствия горно- строительных работ, меры по сохранению недр и окружающей среды, вопросы реконструкции и усиления фундаментов и т.д.

Объектами изучения строительной геотехнологии являются подземные сооружения горнодобывающих предприятий (шахты, стволы, тоннели, горные выработки и т.д.) и энергетических комплексов (например, машинные залы ГЭС), транспортные гидротехнические и коммунальные (коллекторные) тоннели, метрополитены, инженерные сооружения в подземном пространстве городов и другие подземные сооружения различного назначения.

Строительная геотехнология базируется на следующих научных дисциплинах:

- методология проектирования подземных сооружений;
- механика подземных сооружений;
- технология строительства, реконструкции и восстановления подземных сооружений;
- механика горных пород и горное давление;
- управление состоянием породного массива при ведении горно - строительных работ.

# **Раздел 1**

## **СОСТАВ И СВОЙСТВА ГРУНТОВ**

# 1. ГРУНТЫ: ПОНЯТИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОСТАВ

## 1.1. Понятия «грунт» и «грунтовый массив»

В соответствии с ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» «Грунт – любые горные породы, почвы, осадки и техногенные образования, рассматриваемые как многокомпонентные, динамичные системы и часть геологической среды, и изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека». Грунт рассматривается как однородная по составу, строению и свойствам часть грунтового массива. Поверхностный слой земли, измененный совместными действиями климата, воды и газов, растительных и животных организмов и обогащенный гумусом, образует почву. Почвы и скальные породы также именуется грунтами. Таким образом, понятие «грунт» включает все виды горных пород. Следовательно, термины «грунт» и «горная порода» равнозначны.

В инженерно-геологической и строительной практике грунтами принято называть «все рыхлые горные породы» коры выветривания каменной оболочки земли (литосферы) [2,3,4]. Применительно к задачам дорожного строительства под термином «грунт» понимается любая горная порода, почва, а также твердые отходы хозяйственной деятельности человека, используемые как основание или материал для возведения земляного сооружения [5]. Применительно к задачам горного дела и подземного строительства грунты (земля) используются как среда для размещения в них сооружений (вместилища).

По [6] грунтом называется всякая горная порода, используемая в качестве основания зданий и сооружений, как среда для размещения подземных сооружений, а также как материал для возведения земляного сооружения. Здесь же отмечается, что горная порода – это закономерно сложенная совокупность минералов, которая характеризуется составом, структурой и текстурой. Хотя термины «грунт» и «горная порода» равнозначны, однако применительно к задачам надземного строительства грунтами принято называть

дисперсные (раздробленные) горные породы. В горном же деле, подземном и горнотехническом строительстве, а также при оценке инженерно-геологических условий горных массивов и строительных материалов применяется более широкий термин «горная порода».

«Грунтовый массив» - это определенный объем грунта, который используется в инженерно-строительной деятельности человека для различных целей. Понятия «грунт» и «грунтовый массив» находятся в строгом соподчинении, так как отдельные грунты представляют собой определенные литологические разности горных пород, осадков и почв, а грунтовый массив представляет собой совокупность нескольких и различных видов горных пород. Именно грунтовый массив, как определенный объем грунта, служит основанием зданий и сооружений, средой для размещения подземных сооружений. Строение образца (пробы) грунта может отличаться от строения этого же грунта в «грунтовом массиве».

Грунты отличаются друг от друга по строению, составу и свойствам. Строение образца грунта характеризуется его структурой и текстурой, а структура грунта может быть описана интегральными и дискретными параметрами [7]. К интегральным параметрам относятся пористость и коэффициент пористости, а также удельная или относительная поверхность твердых частиц. К дискретным параметрам структуры грунта относятся размеры структурных элементов – частиц и пор, соотношение между ними. Строение «грунтового массива» характеризуется неоднородностью, анизотропией и трещиноватостью.

Грунты подразделяют на два класса: скальные – грунты с жесткими структурными связями и нескальные (дисперсные) – грунты без жестких структурных связей. Принципиальное их отличие состоит в том, что скальные грунты рассматриваются как сплошное (слитное) твердое тело, а нескальные грунты – как раздробленное твердое тело.

Все грунты разделяются на естественные (магматические, осадочные, метаморфические) и искусственные (уплотненные



или закрепленные в естественном состоянии, насыпные и намывные). Магматические (изверженные) горные породы образуются при медленном остывании и отвердении огненно-жидких расплавов магмы в верхних слоях земной коры.

Осадочные горные породы образуются в результате выветривания, перемещения, осаждения и уплотнения продуктов разрушения исходных пород магматического, метаморфического или осадочного происхождения, образовавшихся ранее. В зависимости от степени упрочнения различают сцементированные (скальные) и несцементированные (нескальные) осадочные горные породы.

Метаморфические горные породы образуются в недрах из осадочных, магматических или метаморфических пород путем их перекристаллизации под воздействием высоких давлений и температур.

Горные породы магматического, метаморфического происхождения и сцементированные осадочные породы обладают жесткими связями между частицами, агрегатами и относятся к классу скальных грунтов. Осадочные несцементированные породы не имеют жестких связей и относятся к классу нескальных грунтов.

Грунт и грунтовый массив могут быть использованы как:

- основания зданий и сооружений;
- среда для размещения подземных сооружений (вместилища);
- материал самого сооружения (грунтовая плотина, насыпь);
- строительный материал или сырье.

Грунты, как горные породы, обладают свойствами, которые определяют их физическое состояние, отношение к воде, а также закономерности изменения прочности и деформируемости грунтов при внутренних и внешних воздействиях. Различают физические, водные и механические свойства грунтов. Их выражают и оценивают с помощью определенных показателей - характеристик.

**Физические свойства** характеризуют физическое состояние горных пород и выражается в их плотности, влажности, пористости, консистенции, трещиноватости и

выветрелости в условиях естественного залегания, а также в земляных сооружениях и отвалах. Данные о физических свойствах позволяют оценивать прочность и устойчивость горных пород.

**Водные свойства** горных пород проявляются в их способности изменять состояние, прочность и устойчивость при взаимодействии с водой, поглощать и удерживать воду или фильтровать ее. Зная водные свойства горных пород, можно делать прогноз изменения их прочности и других свойств, а также развития каких-либо геологических процессов под воздействием воды. Показатели водных свойств пород непосредственно используются при различных инженерных расчетах, например при расчетах потерь воды на фильтрацию, притока воды к строительным котлованам и водозаборам, параметров водопонижительных установок др.

**Механические свойства** горных пород определяют их поведение под влиянием внешних усилий — нагрузок. Они проявляются и непосредственно оцениваются прочностью и деформативностью горных пород. Показатели механических свойств используются при различных инженерных расчетах: при расчете осадок сооружений и прогнозе их развития во времени; устойчивости откосов и естественных склонов; давления горных пород на ограждающие конструкции (подпорные стены) и крепи подземных выработок и т. д.

Свойства грунтов в образцах всегда отличаются от их свойств в условиях естественного залегания, т.е. в массивах. Грунты в условиях естественного залегания более неоднородны по составу, строению и физическому состоянию и более анизотропны по свойствам. Горные массивы в целом имеют поверхности и зоны ослабления, трещиноваты и выветрелы, в них выражены текстурные признаки, как слоистость.

## 1.2. Термины и определения (ГОСТ 25100-2011)

**Грунт** – любые горные породы, почвы, осадки и техногенные образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы и часть геологической среды, и изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека.

**Скальный грунт** – грунт, имеющий жесткие структурные связи кристаллизационного и (или) цементационного типа.

**Дисперсный грунт** – грунт, состоящий из совокупности твердых частиц, зёрен, обломков и др. элементов (дисперсной фазы), между которыми есть физические и (или) физико-химические структурные связи.

**Связный грунт** – дисперсный грунт с физическими и физико-химическими структурными связями.

**Несвязный грунт** – дисперсный грунт, обладающий механическими структурными связями и сыпучестью в сухом состоянии.

**Глинистый грунт** – связный грунт, состоящий в основном из пылеватых и глинистых (не менее 3%) частиц, обладающий свойством пластичности ( $I_p \geq 1\%$ ).

**Минеральный грунт** – грунт, состоящий из неорганических веществ.

**Крупнообломочный грунт** – несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером крупнее 2 мм составляет более 50 %.

**Песчаный грунт (песок)** – несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером 0,05-2 мм составляет более 50 % и величина  $I_p < 1\%$ .

**Техногенный грунт** – грунт, измененный, перемещенный или образовавшийся в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека.

**Органическое вещество** – органические соединения, входящие в состав грунта.



**Заторфованный грунт** — органо-минеральный грунт, содержащий в своем составе от 3 до 50 % (по массе) органического вещества, представленного растительными остатками и гумусом (торфом).

**Ил** — нелитифицированный высокопористый органо-минеральный или органический осадок акваторий, текучей консистенции. Различают морские и пресноводные (сапропели и др.) илы.

**Мёрзлый грунт** — грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий в своем составе видимые ледяные включения и (или) лед-цемент, и характеризующийся криогенными структурными связями.

**Криогенная текстура** — совокупность признаков сложения мерзлого грунта, обусловленная ориентировкой, относительным расположением и распределением различных по форме и размерам ледяных включений и льда-цемента.

**Морозный грунт** — грунт, имеющий отрицательную температуру, не сцементированный льдом.

**Торфяной грунт (торф)** — органический грунт, содержащий в своем составе 50 % (по массе) и более органического вещества, представленного растительными остатками и гумусом.

**Пластичномёрзлый грунт** — дисперсный грунт, сцементированный льдом, обладающий вязко-пластичными свойствами и сжимаемостью под внешней нагрузкой.

**Лёдогрунт** — грунт, содержащий в своем составе более 90% льда.

**Промороженный грунт** — искусственно замороженный грунт.

**Сыпучемёрзлый грунт** — крупнообломочный и песчаный грунт, имеющий отрицательную температуру, но не сцементированный льдом.

**Твердомёрзлый грунт** — дисперсный грунт, прочно сцементированный льдом, характеризующийся относительно хрупким разрушением, практически несжимаемый под внешней нагрузкой.



**Органоминеральный грунт** – грунт, содержащий от 3 до 50 % (по массе) органического вещества.

**Органический грунт** – грунт, содержащий 50 % (по массе) и более органического вещества.

**Пучинистый грунт** – дисперсный грунт, который при переходе из талого состояния в мерзлое увеличивается в объеме вследствие образования льда.

**Набухающий грунт** – грунт, увеличивающий свой объем при замачивании водой и имеющий относительную деформацию набухания  $\epsilon_{sw} \geq 0,04$  (в условиях свободного набухания) или развивающий давление набухания (в условиях ограниченного набухания).

**Просадочный грунт** – грунт, который под действием нагрузки, соответствующей весу вышележащей толщи грунта, при замачивании водой претерпевает вертикальную деформацию (просадку) и имеет относительную деформацию просадки  $\epsilon_{sl} \geq 0,01$ .

**Структура грунта** – пространственная организация, определяющаяся размером, формой, характером поверхности, количественным соотношением структурных элементов грунта и характером связи между ними.

**Текстура грунта** – строение, обусловленное ориентировкой и пространственным взаимным расположением структурных элементов грунта.

**Блок** – совокупность скальных грунтов, отделенная от соседних блоков разрывами или трещинами (тектонический блок, оползневой блок, блок отдельности).

**Блок отдельности** – часть массива скальных грунтов, ограниченная трещинами, свойства которой могут быть охарактеризованы лабораторными исследованиями образца скального грунта.

**Вещественный состав грунта** – категория, отражающая химико-минеральный состав вещества твердых, жидких, газовых и биотических (живых) компонентов грунта.

**Водопроницаемость** – способность грунтов фильтровать воду.

**Гранулометрический состав грунта** — процентное содержание первичных (не агрегированных, отдельных) частиц различной крупности по фракциям, выраженное по отношению их массы.

**Засоленность** — характеристика, определяющаяся количеством водорастворимых солей в грунте.

**Липкость, прилипаемость (предел адгезионной прочности глинистых грунтов)** — способность грунта прилипать к различным материалам при соприкосновении.

**Плывуность** — способность дилатантно-тиксотропных и некоторых квазитиксотропных грунтов к быстрому разжижению при воздействии динамической нагрузки, связанная с особенностями их структуры.

**Разжижаемость** — переход грунта в текучее состояние. Динамическая разжижаемость — переход водонасыщенных дисперсных грунтов в текучее состояние в результате разрушения структурных связей под действием волн напряжений разного типа.

**Тиксотропность** — способность связных грунтов в пластичном и текучем состояниях разупрочняться при динамических воздействиях и восстанавливать прочность в состоянии покоя при неизменных температуре, объеме и влажности.

**Трещиноватость скального массива** — особенность строения скального массива, обусловленная наличием трещин разного происхождения, размера, формы, направления, с различными заполнителями.

### 1.3. Составные элементы грунтов

Основной особенностью нескальных грунтов является их раздробленность (дисперсность). Природный грунт состоит из отдельных минеральных частиц, либо связанных между собой, но очень слабо (связные грунты), либо вовсе несвязанных (несвязные грунты). Между частицами имеются поры (пустоты), которые заполнены частично водой (жидкостью) и частично газом (воздухом). Твердые частицы образуют скелет грунта.

В общем случае грунт рассматривается как трехфазная (трехкомпонентная) среда, состоящая из твердых частиц, воды (жидкости) и газа (воздуха). Когда все поры грунта будут заполнены водой (жидкостью), такой грунт называется полностью водонасыщенный. Когда в порах грунта вода вообще отсутствует, такой грунт называется абсолютно сухой.

Полностью водонасыщенные и абсолютно сухие грунты рассматриваются как двухфазная (двухкомпонентная) среда. В первом случае грунт состоит из твердых частиц и воды, во втором случае – из твердых частиц и газа.

В естественно-природных условиях абсолютно сухой или полностью водонасыщенный грунт практически отсутствуют, ибо в любом природном грунте в том или ином количестве содержатся и вода, и газ. Соотношение воды и газа в разных грунтах разное. В одних грунтах больше воды и меньше газа, в других, наоборот, больше газа и меньше воды, но в итоге они составляют 100%.

**Твердые частицы** (твердая фаза) грунтов представляют систему разнообразных по форме, составу и размерам минеральных зерен. Весьма существенным фактором в оценке свойств грунтов является минералогический состав твердых частиц, так как они по-разному взаимодействуют с водой (влажностью). В крупнообломочных и песчаных грунтах породообразующие частицы представлены в основном минералами кварца, полевого шпата, слюды и др., которые менее активно взаимодействуют с влажностью (водой). В глинистых же грунтах преобладают более мелкие частицы таких минералов,

как монтмориллонит, каолинит, гидрослюда и др., взаимодействие которых с водой сильнее. Это означает, что свойства крупнообломочных и песчаных грунтов менее зависимы от влажности, а свойства пылевато-глинистых грунтов с повышением влажности существенно ухудшаются. Диапазон изменения крупности частиц значительный - от нескольких сот миллиметров до мельчайших частиц коллоидного порядка.

Частицы, близкие по размерам объединяются в определенные группы - фракции. Количественное соотношение (процентное содержание) частиц различной крупности называется гранулометрическим (зерновым) составом грунта. Гранулометрический состав для частиц крупнее 0,1мм (крупнообломочные и песчаные грунты) определяют просеиванием пробы грунта определенного количества через набор стандартных сит. Гранулометрический состав частиц мельче 0,1мм (пылевато-глинистые грунты) определяют методами, основанными на скорости выпадения частиц в суспензии (зависимость Стокса).

Форма твердых частиц существенно влияет на его свойства. Форма крупнообломочных и песчаных частиц в зависимости от генезиса (происхождения) грунта может меняться в широких пределах: от очень окатанных (гладких, близких по форме к шару) до не окатанных (угловатых и пластинчатых). Глинистые частицы имеют в основном пластинчатую и игольчатую форму, что увеличивает удельную поверхность частиц. Содержание в грунте того или иного количества глинистых частиц весьма существенно сказывается на их физико-механические свойства. Именно глинистые частицы придают грунтам связность и пластичность.

**Вода**, как самостоятельная фаза, вместе с газом находится в порах грунта в различных видах и состояниях. Вода в грунтах может быть в парообразном, жидком и твердом состояниях. Водяной пар в смеси с воздухом рассматривается как газообразные включения. В твердом состоянии вода находится в грунтах в виде льда (мерзлый грунт) или в виде кристаллизационной воды, входящей в состав твердой фазы



грунта. В жидком состоянии вода может быть в связанном и свободном виде.

Твердые минеральные частицы грунтов заряжены отрицательно, а молекулы воды, заряженные положительно в одном конце (атом кислорода) и отрицательно в другом конце (два атома водорода), представляют диполи. Следовательно, при соприкосновении частиц с водой возникает молекулярная сила взаимодействия, которая притягивает молекулы воды к поверхности частиц. Непосредственно у поверхности частиц эта сила огромна и достигает нескольких сот МПа [2,3,8]. Поэтому первые слои молекул воды (1–3 ряда) образуют слой прочносвязанной воды, толщина которой составляет порядка  $10^{-6}$  см [8]. С удалением от поверхности частиц эти силы ослабевают, и молекулы воды в этой зоне образуют рыхлосвязанную воду, которая находится под давлением всего в несколько атмосфер [2,3,8].

Молекулы воды, находящиеся вне сферы действия этих сил, образуют свободную воду, которую подразделяют на гравитационную и капиллярную. Гравитационная вода, которая обладает общеизвестными свойствами, движется (перемещается) под действием разности напоров на рассматриваемом участке. Капиллярная вода движется по капиллярным каналам, образованным системой мелких пор грунта под действием сил капиллярного натяжения. Движение капиллярных вод, известное как капиллярное поднятие, связано с явлениями смачивания водой поверхности минеральных частиц и силами поверхностного натяжения воды. Чем тоньше капиллярные каналы, тем больше высота капиллярного поднятия воды.

Характер взаимодействия воды с твердыми частицами грунта зависит от поверхностной активности грунта. Для оценки поверхностной активности грунта применяют понятие «удельная поверхность частиц» - отношение суммарной площади поверхности всех частиц к занимаемому ими объему ( $1/\text{см}$ ) [8]. Чем мельче частицы, тем больше их удельная поверхность. Песчаные частицы имеют удельную поверхность до  $0,05 \text{ м}^2/\text{г}$ , глинистые частицы от  $10 \text{ м}^2/\text{г}$  до  $800 \text{ м}^2/\text{г}$ .

Газы, как самостоятельная фаза, в грунтах всегда содержатся в определенном количестве в зависимости от степени заполнения пор грунта водой. Чем больше воды в порах, тем меньше газа и, наоборот, чем меньше воды, тем больше газа. В грунтах имеются следующие виды газа: свободный и растворенный. Свободный газ бывает защемленный (замкнутый), не имеющий прямого сообщения с атмосферой, и не защемленный, сообщающийся с атмосферой. Защемленный газ находится в порах грунта и со всех сторон окружен пленками связанной воды. Замкнутый (защемленный) газ оказывает существенное влияние на свойства грунтов и особенно на протекающие в грунтах процессы. Не защемленный газ находится в трещинах, пустотах и разломах.

Следует отметить, что в поровой воде всегда имеется как растворенный газ, так и некоторое количество пузырьков воздуха, наличие которых существенно влияет на свойства грунтов, особенно, на напряженно-деформированное состояние грунтового массива. Содержание не защемленного свободного газа особого значения в механике грунтов не имеет, так как они практически не участвуют в распределении давлений между частицами грунта.

#### 1.4. Структурные связи и строение грунтов

Нескальные (дисперсные) грунты делятся на связные и несвязные. Связный грунт — дисперсный грунт с физическими и физико-химическими структурными связями. Несвязный грунт — дисперсный грунт, обладающий механическими структурными связями и сыпучестью в сухом состоянии. Однако, в отличие от скальных пород, связи между частицами дисперсных грунтов мягкие и очень слабые. Связи между частицами грунта и их отдельными агрегатами называют структурными связями.

Связность придает грунтам способность воспринимать хотя бы небольшое растягивающее усилие и сохранять без разрушения вертикальный откос. Прочностные свойства

дисперсных грунтов определяются характером и прочностью структурных связей. Природа структурных связей грунта весьма сложна и связана с электромолекулярными силами взаимодействия твердых минеральных частиц с пленками связанной воды. В формировании структурных связей грунта главная роль принадлежит воде. В абсолютно сухом грунте между частицами не могут быть образованы какие-либо связи. Также следует отметить важную роль содержащихся в грунте различных солей, химических веществ в формировании связей.

Структурные связи грунта подразделяют на кристаллизационные (жесткие) и водно-коллоидные (вязкопластичные). Кристаллизационные связи характерны скальным грунтам, водно-коллоидные связи — глинистым. Кристаллизационные связи могут быть растворимыми в воде или нерастворимыми. Кристаллизационные связи образуются путем возникновения спаек из аморфных веществ, природных цементов, химических соединений и клеев, содержащихся в грунте. Эти связи хрупкие, необратимые и невосстанавливающиеся. Водно-коллоидные связи обусловлены электромолекулярными силами взаимодействия, как между минеральными частицами, так и между коллоидно-глинистыми частицами и окружающими их пленками связанной воды. Эти связи мягкие, обратимые и при разрушении они со временем могут восстанавливаться.

Строение природного грунта характеризуется его структурой и текстурой. Под структурой грунта понимают размер, форму и количественное соотношение слагающих его частиц, а также характер связи между ними [9]. Под структурой грунта понимается пространственная организация, определяющаяся размером, формой, характером поверхности, количественным соотношением структурных элементов грунта и характером связей между ними. Под текстурой грунта понимается строение, обусловленное ориентировкой и пространственным взаимным расположением структурных элементов грунта. Текстурные особенности грунтов влияют на водно-физические и механические свойства массива грунта.



## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ

В соответствии с ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» разновидности грунтов устанавливаются по различным характеристикам – классификационным показателям.

### 2.1. Скальные грунты

Скальные грунты обладают жесткими структурными связями кристаллизационного и цементационного типа. Скальные грунты подразделяют на типы и виды по генезису и вещественному составу, а их разновидности выделяют по количественным показателям их вещественного состава, строения, состояния и свойств. В качестве основной характеристики разновидности скальных пород принят предел прочности на одноосное сжатие  $R_c$ , образцов в водонасыщенном состоянии (ГОСТ 12248).

Предел прочности на одноосное сжатие  $R_c$ , - отношение нагрузки, при которой происходит разрушение образца, к площади первоначального поперечного сечения. Разновидности скальных грунтов по пределу прочности на одноосное сжатие  $R_c$  в водонасыщенном состоянии приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Разновидность грунтов	Предел прочности на одноосное сжатие $R_c$ , МПа
<b><u>Скальные:</u></b>	
Очень прочные	$R_c \geq 120$
Прочные	$120 > R_c \geq 50$
Средней прочности	$50 > R_c \geq 15$
Малопрочные	$15 > R_c \geq 5$
<b><u>Полускальные:</u></b>	
Пониженной прочности	$5 > R_c \geq 3$
Низкой прочности	$3 > R_c \geq 1$
Очень низкой прочности	$R_c < 1$



**Плотность скелета грунта (плотность сухого грунта)**  $\rho_d$ , г/см<sup>3</sup> – отношение массы сухого грунта к его объему. Разновидности скальных грунтов по плотности скелета грунта  $\rho_d$  приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2

Разновидность грунтов	Плотность сухого грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>
Очень плотные	$\rho_d \geq 2,50$
Плотные	$2,50 > \rho_d \geq 2,10$
Средней плотности	$2,10 > \rho_d \geq 1,20$
Низкой плотности	$\rho_d < 1,20$

**Пористость грунта  $n$** , %, отношение объема пор ко всему объему грунта. По пористости скальные грунты подразделяют согласно таблице 2.3.

Таблица 2.3

Разновидность грунтов	Пористость $n$ , %
Непористые	$n \leq 3$
Слабо пористые	$3 < n \leq 10$
Средне пористые	$10 < n \leq 30$
Сильно пористые	$n > 30$

**Коэффициент выветрелости  $K_{wr}$** , д.е. отношение плотности выветрелого грунта к плотности невыветрелого монолитного грунта. Разновидности скальных грунтов по коэффициенту выветрелости приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Разновидность грунтов	Коэффициент выветрелости скальных грунтов $K_{wr}$ , д. е.
Слабовыветрелый	$0,9 \leq K_{wr} < 1$
Средневыветрелый	$0,8 \leq K_{wr} < 0,9$
Сильновыветрелый	$K_{wr} < 0,80$

**Коэффициент размягчаемости в воде  $K_{so}$ , д.е.** - отношение пределов прочности грунта на одноосное сжатие в водонасыщенном и в воздушно-сухом состоянии. Разновидности скальных грунтов по  $K_{so}$  приведены в таблице 2.5

Таблица 2.5

Разновидность грунтов	Коэффициент размягчаемости $K_{so}$ , д.е.
Неразмягчаемый	$K_{so} \geq 0,75$
Размягчаемый	$K_{so} < 0,75$

**Степень водопроницаемости** - характеристика, отражающая способность грунтов пропускать через себя воду и количественно выражающаяся в коэффициенте фильтрации  $K_f$ , м/сут. Разновидности скальных грунтов по степени водопроницаемости приведены в таблице 2.6\*

Таблица 2.6

Разновидность грунтов	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут
Водонепроницаемый	$K_f \leq 0,005$
Слабоводопроницаемый	$0,005 < K_f \leq 0,3$
Водопроницаемый	$0,3 < K_f \leq 3$
Сильноводопроницаемый	$3 < K_f \leq 30$
Очень сильноводопроницаемый	$K_f > 30$

\* Применяется также и для класса дисперсных грунтов.

**Степень растворимости в воде  $q_{sr}$ , г/л**, - величина, отражающая способность грунта растворяться в воде за счет растворения неорганических и органических веществ, определяемая при соотношении грунта и воды 1: 5. По степени растворимости в воде  $q_{sr}$  скальные грунты подразделяют согласно таблице 2.7.

Таблица 2.7

Разновидность грунтов	Степень растворимости $q_{sr}$ , г/л
Нерастворимый	$q_{sr} \leq 0,01$
Труднорастворимый	$0,01 < q_{sr} \leq 1$
Среднерастворимый	$1 < q_{sr} \leq 10$
Легкорастворимый	$10 < q_{sr} \leq 100$
Сильно растворимый	$q_{sr} > 100$

Степень засоленности грунта  $D_{sal}$ , % - отношение массы водорастворимых солей в грунте к массе абсолютно сухого грунта. Разновидности скальных грунтов по степени засоленности принимаются согласно таблице 2.8

Таблица 2.8

Разновидность грунтов	Количество водорастворимых солей $D_{sal}$ , %
Незасоленные	$D_{sal} \leq 2$
Засоленные	$D_{sal} > 2$

## 2.2. Нескальные (дисперсные) грунты

Виды и характеристики нескальных грунтов приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9

Группы и подгруппы нескальных грунтов	Характеристика
<b>Группа осадочных нецементированных грунтов</b>	
Крупнообломочные	Грунты, содержащие более 50% по массе (в воздушно-сухом состоянии) частиц крупнее 2мм
Песчаные	Сыпучие в сухом состоянии грунты, содержащие менее 50% по массе частиц крупнее 2мм и не обладающие свойством пластичности (число пластичности $I_p < 1$ )
Пылевато-глинистые	Связные грунты, обладающие свойством пластичности и для которых число пластичности ( $I_p \geq 1$ )
Биогенные	Грунты с относительным содержанием органического вещества $I_r > 0,1$ (озерные, болотные, озерно-болотные, аллювиально-болотные)
Почвы	Природные образования, слагающие поверхностный слой земной коры и обладающие плодородием.
<b>Группа искусственных грунтов</b>	
Уплотненные грунты в природном залегании	Преобразованные различными способами или перемешанные грунты природного происхождения, а также отходы производственной и хозяйственной деятельности человека
Насыпные	
Намывные	



**Гранулометрический состав крупнообломочных, песчаных и глинистых грунтов** - количественное соотношение частиц различной крупности в дисперсных грунтах (ГОСТ 12536). Разновидности крупнообломочных и песчаных грунтов по гранулометрическому составу приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10

Разновидность грунтов	Размер зерен, частиц $d$ , мм	Содержание частиц, % (по массе)
<b>Крупнообломочные грунты:</b>		
-валунный (при неокатанных гранях - глыбовый)	>200	>50
-галечниковый (при неокатанных гранях - щебенистый)	>10	>50
-гравийный (при неокатанных гранях - дресвяный)	>2	>50
<b>Пески:</b>		
- гравелистые	> 2	> 25
- крупные	> 0,50	> 50
- средней крупности	> 0,25	> 50
- мелкие	> 0,10	≥ 75
- пылеватые	> 0,10	< 75

**Примечания:**

1. При наличии в крупнообломочных грунтах песчаного заполнителя более 40% или глинистого заполнителя более 30% от общей массы воздушно-сухого грунта в наименовании крупнообломочного грунта добавляется наименование вида заполнителя и указывается характеристика его состояния. Вид заполнителя устанавливается после удаления из крупнообломочного грунт частиц крупнее 2 мм.

2. Для установления наименования грунта по табл.2.10 последовательно суммируются проценты частиц грунта сверху вниз – сначала крупнее 200мм, затем крупнее 10мм, далее крупнее 2мм и т.д. Наименование грунта принимается по первому удовлетворению требования.

По размерам (ГОСТ 12536) слагающие грунт элементы (частицы грунта) подразделяют согласно таблице 2.11.

Таблица 2.11

Слагающие грунт элементы (частицы)	Фракции	Размеры частиц, мм
Валуны (глыбы)	Крупные	> 800
	Средние	400 – 800
	Мелкие	200 – 400
Галька (щебень)	Крупные	100 – 200
	Средние	60 – 100
	Мелкие	10 – 60
Гравий (дресва)	Крупные	4 – 10
	Мелкие	2 – 4
Песчаные частицы	Грубые	1 – 2
	Крупные	0,5 – 1
	Средние	0,25 – 0,5
	Мелкие	0,10 – 0,25
	Тонкие	0,05 – 0,10
Пылеватые частицы	Крупные	0,01 – 0,05
	Мелкие	0,002 – 0,01
Глинистые частицы		< 0,002

**Степень неоднородности гранулометрического состава  $C_u$**  - показатель неоднородности гранулометрического состава. Определяется по формуле

$$C_u = d_{60} / d_{10};$$

где:  $d_{60}$ ,  $d_{10}$  – диаметр частиц, мм, меньше которых в грунте содержатся соответственно 60% и 10% (по массе) частиц.

По степени неоднородности гранулометрического состава  $C_u$  крупнообломочные грунты и пески подразделяют на следующие виды:

- однородный грунт  $C_u \leq 3$ ;
- неоднородный грунт  $C_u > 3$

**Число пластичности глинистых грунтов  $I_p$**  - разность влажностей, соответствующая двум состояниям грунта: на границе текучести  $W_L$  и на границе пластичности  $W_p$ .  $W_L$  и  $W_p$  определяются по ГОСТ 5180. По числу пластичности  $I_p$  глинистые грунты подразделяют согласно таблице 2.12

Таблица 2.12

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности, $I_p$
Супесь	$1 \leq I_p < 7$
Суглинок	$7 \leq I_p < 17$
Глина	$I_p \geq 17$

**Наличие включений в глинистых грунтах** - содержание частиц крупнее 2 мм, %, по массе. По наличию включений глинистые грунты подразделяют по таблице 2.13

Таблица 2.13

Разновидность глинистых грунтов	Содержание частиц крупнее 2 мм, % по массе
Супесь, суглинок, глина с галькой (щебнем), с гравием (дресвой)	15 - 25
Супесь, суглинок, глина галечниковые (щебенистые), гравелистые (дресвяные)	25 - 50

По числу пластичности  $I_p$  и содержанию песчаных частиц (по массе) глинистые грунты подразделяют согласно таблице 2.14

Таблица 2.14

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности $I_p$ , %	Содержание песчаных частиц (2 - 0,05 мм), %
<b><u>Супесь:</u></b>		
- песчанистая	$1 \leq I_p < 7$	$\geq 50$
- пылеватая	$1 \leq I_p < 7$	$< 50$
<b><u>Суглинок:</u></b>		
- легкий песчанистый	$7 \leq I_p < 12$	$\geq 40$
- легкий пылеватый	$7 \leq I_p < 12$	$< 40$
- тяжелый песчанистый	$12 \leq I_p < 17$	$\geq 40$
- тяжелый пылеватый	$12 \leq I_p < 17$	$< 40$
<b><u>Глина:</u></b>		
- легкая песчанистая	$17 \leq I_p < 27$	$\geq 40$
- легкая пылеватая	$17 \leq I_p < 27$	$< 40$
- тяжелая	$I_p \geq 27$	Не регламентируется

Показатель текучести глинистых грунтов  $I_L$  — отношение разности влажностей естественной  $W$  и на границе раскатывания  $W_p$ , к числу пластичности  $I_p$ . По  $I_L$  глинистые грунты подразделяют согласно таблице 2.15

Таблица 2.15

Разновидность грунтов	Показатель текучести $I_L$
<b><u>Супесь:</u></b>	
- твердая	$I_L < 0$
- тугопластичная	$0 \leq I_L \leq 0,50$
- мягкопластичная	$0,50 < I_L \leq 1,00$
- текучая	$I_L > 1,00$
<b><u>Суглинки и глины:</u></b>	
- твердые	$I_L < 0$
- полутвердые	$0 \leq I_L \leq 0,25$
- тугопластичные	$0,25 < I_L \leq 0,50$
- мягкопластичные	$0,50 < I_L \leq 0,75$
- текучепластичные	$0,75 < I_L \leq 1,00$
- текучие	$I_L > 1,00$



**Коэффициент водонасыщения  $S_r$  крупнообломочных и песчаных грунтов** - степень заполнения объема пор водой. По коэффициенту водонасыщения крупнообломочные грунты и пески подразделяют согласно таблице 2.16

Таблица 2.16

Разновидность грунтов	Коэффициент водонасыщения $S_r$ , д.е.
Маловлажные (малой степени водонасыщения)	$0 < S_r \leq 0,5$
Влажные (средней степени водонасыщения)	$0,5 < S_r \leq 0,8$
Водонасыщенные	$0,8 < S_r \leq 1$

**Коэффициент пористости песчаных грунтов  $e$**  — отношение объема пор грунта к объему твердых частиц. По коэффициенту пористости  $e$  пески подразделяют согласно таблице 2.17

Таблица 2.17

Разновидность песков	Коэффициент пористости $e$		
	Пески гравелистые, крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотные	$e \leq 0,55$	$e \leq 0,60$	$e \leq 0,60$
Средней плотности	$0,55 < e \leq 0,70$	$0,60 < e \leq 0,75$	$0,60 < e \leq 0,80$
Рыхлые	$e > 0,70$	$e > 0,75$	$e > 0,80$

**Степень плотности песков  $I_D$**  - степень относительной плотности укладки-упаковки частиц. Определяется по формуле

$$I_D = (e_{max} - e) / (e_{max} - e_{min});$$

где:  $e$  — коэффициент пористости грунта при естественном или искусственном сложении;

$e_{max}$  - коэффициент пористости предельно-рыхлого грунта

$e_{min}$  - коэффициент пористости предельно-плотного грунта

По величине  $I_D$  пески подразделяют согласно таблице 2.18

Таблица 2.18

Разновидность песков	Степень плотности $I_D$ , д.е.
Недоуплотненный	$I_D \leq 0$
Слабоуплотненный	$0 < I_D \leq 0,33$
Среднеуплотненный	$0,33 < I_D \leq 0,66$
Сильноуплотненный	$0,66 < I_D \leq 1,00$
Переуплотненный	$I_D > 1$

**Коэффициент выветрелости крупнообломочных грунтов  $K_{wrt}$ , д. е.,** определяется по формуле

$$K_{wrt} = (K_I - K_0) / K_I;$$

где:  $K_I$  — отношение массы частиц размером менее 2мм к массе частиц размером более 2мм после испытания на истирание в полочном барабане;  $K_0$  — то же, в природном состоянии.

По коэффициенту выветрелости  $K_{wrt}$  крупнообломочные грунты подразделяют согласно таблице 2.19

Таблица 2.19

Разновидность грунтов	Коэффициент выветрелости $K_{wrt}$ , д. е.
Слабовыветрелый	$0 < K_{wrt} \leq 0,50$
Средневыветрелый	$0,50 < K_{wrt} \leq 0,75$
Сильновыветрелый	$0,75 < K_{wrt} \leq 1,00$

**Коэффициент истираемости крупнообломочных грунтов  $K_{fr}$ , д.е.** Определяется по формуле

$$K_{fr} = q_1 / q_2 ;$$

где:  $q_1$  – масса частиц размером менее 2мм после испытания крупнообломочных фракций грунта (частицы размерами более 2мм) на истирании в полочном барабане;

$q_2$  – начальная масса пробы крупнообломочных фракций (до испытания на истирание)

По коэффициенту истираемости  $K_{fr}$  крупнообломочные грунты подразделяют согласно таблице 2.20

Таблица 2.20

Разновидность грунтов	Коэффициент истираемости $K_{fr}$ д. е.
Очень прочные	$K_{fr} \leq 0,05$
Прочные	$0,05 < K_{fr} \leq 0,20$
Средней прочности	$0,20 < K_{fr} \leq 0,30$
Малопрочные	$0,30 < K_{fr} \leq 0,40$
Пониженной прочности	$K_{fr} > 0,40$

**Сжимаемость дисперсных грунтов** – способность грунта изменять свое строение за счет уменьшения объема пор. Сжимаемость (деформируемость) грунта характеризуется модулем общей деформации (упругой и остаточной)  $E$ . По сжимаемости дисперсные грунты подразделяют согласно таблице 2.21

Таблица 2.21

Разновидность грунтов	Модуль деформации $E$ , МПа
Очень сильно деформируемые	$E \leq 5$
Сильнодеформируемые	$5 < E \leq 10$
Среднедеформируемые	$10 < E \leq 50$
Слабдеформируемые	$E > 50$

**Относительная деформация набухания без нагрузки**  
 $\epsilon_{sw}$  Д.е. - отношение увеличения высоты образца грунта при замачивании после свободного набухания в условиях невозможности бокового расширения к начальной высоте образца природной влажности. Определяется по ГОСТ 24143. По относительной деформации набухания без нагрузки  $\epsilon_{sw}$  глинистые грунты подразделяют согласно таблице 2.22

Таблица 2.22

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

**Относительная деформация просадочности**  $\epsilon_{sl}$ , Д.е. - отношение разности высот образцов, соответственно, природной влажности и после его замачивания при заданном давлении, к первоначальной высоте образца природной влажности. Определяется по ГОСТ 23161.

По относительной деформации просадочности  $\epsilon_{sl}$  глинистые грунты подразделяют согласно таблице 2.23

Таблица 2.23

Разновидность грунтов	Относительная деформация просадочности $\epsilon_{sl}$ , Д. е.
Непросадочный	$\epsilon_{sl} < 0,01$
Слабопросадочный	$0,01 \leq \epsilon_{sl} \leq 0,03$
Среднепросадочный	$0,03 < \epsilon_{sl} \leq 0,07$
Сильнопросадочный	$0,07 < \epsilon_{sl} \leq 0,12$
Чрезвычайно просадочный	$\epsilon_{sl} > 0,12$



**Относительное содержание органического вещества  $I_r$ , д.е.** — отношение массы органического вещества к массе абсолютно сухого грунта (ГОСТ 23740). По величине  $I_r$  грунты подразделяют согласно таблице 2.24.

Таблица 2.24

Разновидность грунтов	Показатель $I_r$ , д.е.
<b>Минеральные</b>	$I_r \leq 0,03$
<b>Органо-минеральные:</b>	
- с примесью органического вещества	$0,03 < I_r \leq 0,10$
- с низким содержанием органического вещества	$0,10 < I_r \leq 0,30$
- с высоким содержанием органического вещества	$0,30 < I_r \leq 0,50$
<b>Органические</b>	$I_r > 0,50$

**Степень морозной пучинистости** — характеристика, отражающая способность грунта к морозному пучению, выражается относительной деформацией морозного пучения  $\varepsilon_{fn}$ , д.е. По степени морозной пучинистости  $\varepsilon_{fn}$  (ГОСТ 28622) дисперсные грунты подразделяют согласно таблице 2.25.

Таблица 2.25

Разновидность грунтов	Степень пучинистости $\varepsilon_{fn}$ , %
Непучинистый	$\varepsilon_{fn} < 1,0$
Слабопучинистый	$1,0 \leq \varepsilon_{fn} \leq 3,5$
Среднепучинистый	$3,5 < \varepsilon_{fn} \leq 7,0$
Сильнопучинистый	$7,0 < \varepsilon_{fn} \leq 10,0$
Чрезмернопучинистый	$\varepsilon_{fn} > 10,0$

Классификация грунтов позволяет установить не только типы, подтипы, виды и подвиды грунта (выделить его среди многообразия других грунтов), но и определить ориентировочные значения его прочностных и деформационных характеристик по таблицам СНиП.

### 2.3. Способы визуального определения вида грунтов

При производстве земляных работ, устройстве оснований зданий и сооружений, возведении грунтовых сооружений бывает необходимо приблизительно установить вид грунта прямо на строительной площадке или на карьерах. В работе [11] приводятся некоторые визуально-отличительные признаки грунтов для приблизительного определения вида и влажности грунтов. В таблице 2.26 приведены визуально-отличительные признаки песчаных и крупнообломочных грунтов.

Таблица 2.26

Вид грунта	Ощущения при растирании	Описания через лупу, либо простым глазом
Галька, щебень	Галька имеет окатанную форму, а щебень остроугольную форму	Зерна крупнее ореха составляют более половины образца, между ними мелкое заполнение
Гравий, дресва	Гравий имеет частично окатанную форму, дресва – с острыми краями	Зерна от мелкого ореха до горошины составляют более половины образца, между ними мелкое заполнение
Песок: крупный	Глинистых частиц не чувствуется	Значительное количество частиц размером с гречневое зерно. Основная масса имеет размер проса. В лупу видны только песчаные частицы. Зерна трудно различить невооруженным глазом.
Средней крупности	То же	
Мелкий	То же	
Пылеватый	Напоминает жестко-грубую муку или пыль	Мелкая мучнистая смесь типа крупчатой муки. Отдельные зерна в массе трудно различить невооруженным глазом.

В таблице 2.27 приведены способы определения влажности песчаных и пылевато-глинистых грунтов на ощупь и визуально.

Таблица 2.27

Влажность грунта	Вид грунта	
	Песчаный	Пылевато-глинистый
Сухой	Влажность не ощущается, при сжатии в горсть быстро рассыпается	Влажность не ощущается, разламывается с большим усилием, при растирании пылит
Маловлажный	При встряхивании на ладони рассыпается в комки	Цвет темнее, чем в сухом состоянии, не лепится, режется ножом.
Влажный	В руке ощущается влажность, можно придать определенн. форму, бумага быстро сыреет	В руке ощущается влажность, легко лепится, не крошится, капли воды медленно всасывается внутрь грунта
Насыщенные водой	Не сохраняет форму, в спокойном состоянии расплзается и растекается	Капли воды не всасывается внутрь грунта, при нажатии рукой выходит вода на поверхность образца.

В таблице 2.28 приведены способы определения вида пылевато-глинистых грунтов на ощупь и визуально.

Таблица 2.28

Вид грунта	Ощущения при растирании пальцами	Через лупу	В сухом состоянии	Во влажном состоянии	При раскатывании во влажном состоянии	При скатывании и последующем сдавливании в сыром состоянии	При разрезании ножом в сыром состоянии
Глина	Песчаные частицы не чувствуются	Песчинок не видно	Твердая в кусках	Пластичная липкая, мажется	Образует длинный шнур диаметром менее 1 мм	Образует шар, который сдавливается в лепешку, не трескаясь по краям	Образует гладкую поверхность, верхность, на которой не видно песчинок
Суглинок	Чувствуются песчаные частицы. Комочки раздавливаются легко	Ясно видны песчинки на фоне пылеватых частиц	Комья и куски под ударом молотка рассыпаются	Пластичность и липкость слабее, чем у глины	Не образует длинного шнура, диаметр более 1 мм	Шар сдавливается в лепешку с трещинами по краям	На ощупь чувствуется присутствие песчинок
Супесь	Преобладают песчинки. Комочки раздавливаются без труда	Песчаные частицы преобладают над глинистыми	Комья рассыпаются и крошатся руками	Слабо пластичная	Образует короткий шнур диаметром более 3 мм	Образует шар, который при легком надавливании рассыпается	Рассыпается на комочки



### 3. ГРУНТЫ КАК ОСНОВАНИЯ, МАТЕРИАЛ И СРЕДА

#### 3.1. Скальные грунты

К скальным грунтам относятся горные породы с жесткими структурными связями, предел прочности которых на сжатие в водонасыщенном состоянии равно и более 5 МПа. Это метаморфические, изверженные (магматические) и прочные осадочные породы. Скальные породы малопористые, залегают в виде сплошного горного массива. Они обладают высокой прочностью и при давлениях, имеющих место под фундаментами зданий и сооружений, практически несжимаемы. При больших нагрузках скальные грунты разрушаются хрупко с потерей сплошности. Они по прочности близки к бетонам.

Высокие прочностные свойства скальных пород обусловлены наличием жестких кристаллических связей, возникающих при раскристаллизации магмы или в процессе метаморфизма, либо при цементации отложений (ангидрид, песчаники, брекчии и др.). Наиболее высокой прочностью обладают магматические породы (80-400 МПа) и метаморфические образования (100 - 300 МПа). Скальные породы осадочного происхождения (гипс, каменная соль, известняки, песчаники, конгломераты) характеризуются прочностью на сжатие от 6 до 100 МПа.

Скальные породы разделяют на спаянные и сцементированные. В спаянных породах частицы находятся в непосредственном контакте и срастаются друг с другом (структурные связи-кристаллизационные). В сцементированных породах связь между частицами осуществляется посредством цемента (структурные связи - цементационные). Прочность сцементированных пород зависит от состава цемента и минералогического состава зерен. Прочность трещиноватых скальных пород значительно меньше и при прочности меньше 5 МПа они классифицируются как полускальные. Условная граница между скальными и полускальными грунтами принимается по прочности на одноосное сжатие ( $R_c > 5$  МПа - скальные грунты,  $R_c < 5$  МПа - полускальные грунты).

Важной характеристикой скальных пород является их отношение к воде — размягчение и растворение. Особенно подвержены размягчению породы, содержащие в большом количестве глинистые минералы.

Скальные породы для промышленных, гражданских и гидротехнических сооружений являются надежным основанием, так как имеют высокую несущую способность и практически не дают осадки. Скальные породы широко используются в строительстве как:

- строительный камень для возведения фундаментов и стен;
- облицовочный материал;
- дорожно-строительный материал;
- материал для возведения плотин и дамб;
- инертный материал в бетонных работах;
- исходный материал для производства строительных материалов.

### 3.2. Нескальные (дисперсные) грунты

Все виды грунтов (скальные и нескальные) состоят из твердых частиц различной крупности, между которыми имеются поры. Если в скальных горных породах частицы спаяны между собой жесткими, прочными внутренними связями, то в нескальных (дисперсных) грунтах частицы, либо вовсе не связаны между собой (несвязные грунты), либо связаны, но очень слабо (связные грунты). Раздробленность (дисперсность) нескальных грунтов по прочности и деформативности существенно отличает их от скальных горных пород.

Если скальные породы слитны и рассматриваются как сплошное твердое тело, то нескальные грунты — как раздробленное твердое тело. Если скальные породы обладают значительной прочностью и практически несжимаемы, то нескальные (дисперсные) грунты обладают значительно меньшей прочностью и большой деформативностью.

Если скальные грунты при больших нагрузках разрушаются хрупко с потерей сплошности, то дисперсные

грунты даже при незначительных давлениях (100-150 кПа) сжимаются. Если в скальных горных породах деформация в основном упругая, то в нескальных грунтах деформация в основном остаточно-пластическая. Если скальные породы по прочности близки к бетонам, то прочность нескальных грунтов значительно меньше, и она зависит от прочности связей между частицами. Если влияние воды на свойства скальных грунтов незначительно, то свойства нескальных грунтов (особенно песчаных и пылевато-глинистых) существенно зависят от содержания воды (влажности).

Различают слоистое, слитное и сложное слоение грунтовых массивов [2,10]. Слоистая текстура – наиболее распространенный вид сложения грунтов, характерный для большинства морских, озерных и других грунтовых отложений. Слитная текстура характерна морским отложениям, имеющим однородное сложение в различных точках массива и осадочным породам. Например, слитная (неслоистая) текстура характерна лессовым отложениям. Сложная текстура – порфировая, ячеистая, макропористая, что характерна моренным суглинкам, вечномёрзлым грунтам и лессовым отложениям.

### 3.2.1. Крупнообломочные грунты

Крупнообломочные грунты рассматриваются как осадочные нецементированные породы с полным отсутствием структурных связей. К крупнообломочным грунтам относятся грунты, содержащие более 50% (по массе) частиц крупнее 2мм. Частицы мельче 2мм, содержащиеся в крупнообломочном грунте, называются (составляют) заполнитель. Заполнитель может быть песчаным и пылевато-глинистым.

При наличии песчаного заполнителя более 40% и пылевато-глинистого - более 30% от общей массы абсолютно сухого грунта в наименовании крупнообломочного грунта добавляется вид заполнителя и его характеристики.

Свойства крупнообломочного грунта как основания зданий и сооружений, в значительной степени зависит от вида,



количества и состояния заполнителя. Для установления вида заполнителя из крупнообломочного грунта удаляют частицы крупнее 2 мм. Далее, для песчаного заполнителя определяется гранулометрический состав и влажность, а для пылевато-глинистого заполнителя определяется дополнительно число пластичности и показатель текучести. Крупнообломочные грунты обладают большой водопроницаемостью.

Крупнообломочные грунты с точки зрения строительства являются надежным основанием. Они по сравнению с другими видами нескальных грунтов (песчаные и пылевато-глинистые) обладают большей несущей способностью и менее сжимаемы. Сжимаемость крупнообломочных грунтов происходит за счет заполнителя. Крупнообломочные грунты с пылевато-глинистым заполнителем более сжимаемы, чем с песчаным заполнителем. В соответствии со СНиП 2.02.01-83\* расчетное сопротивление крупнообломочных грунтов в зависимости от вида, количества и характеристики заполнителя составляет 400 – 600 кПа.

В инженерно-строительной практике крупнообломочные грунты широко используются как строительный материал. Например, гравийно-галечниковый грунт используется как материал для устройства основания сооружений, дорог, аэродромов; для возведения насыпей и каменно-земляных плотин. Кроме того, на дробильно-сортировочных заводах из природного гравийно-галечникового грунта производится щебень и песок. При применении крупнообломочных грунтов для производства строительных материалов существуют соответствующие ГОСТы и технические условия (ТУ).

### 3.2.2. Песчаные грунты

Песчаные грунты относятся к классу осадочных нецементированных пород. К песчаным грунтам относятся сыпучие в сухом состоянии грунты, содержащие менее 50% частиц крупнее 2 мм и не обладающие свойством пластичности. Содержание глинистых частиц в песчаном грунте составляет



менее 3%, а число пластичности меньше единицы. Песчаный грунт не раскатывается в шнур.

Песчаные грунты, как и крупнообломочные, служат надежным основанием и эффективно используются как строительный материал. Как основания, песчаные грунты оцениваются по-разному. Несущая способность песчаных грунтов (особенно мелких и пылеватых) зависит от их пористости и влажности. Пески гравелистые, крупные и средней крупности (плотные и средней плотности) обладают большим расчетным сопротивлением (600-400кПа). Что касается песков мелких и пылеватых, то они в маловлажном состоянии имея расчетное сопротивление соответственно 400-300кПа также считаются надежным основанием. Однако с повышением влажности они, особенно пылеватые, приобретут такое свойства, как разжижение с переходом в плавунное состояние. Такое нежелательное свойства влажных и водонасыщенных мелких и пылеватых песков существенно ограничит их использование как основания зданий и сооружений, особенно в сейсмических условиях. Кроме того, пески мелкие и пылеватые являются пучинистыми.

Прочностные и деформационные характеристики песчаных грунтов (угол внутреннего трения и модуль деформации), нормативные значения которых приведены в СНиП 2.02.01-83\*, зависят от величины коэффициента пористости. Значения этих показателей также свидетельствуют о том, что, как основания зданий и сооружений, надежными являются все виды песчаных грунтов, кроме пылеватых.

Исследования и опыты показывают, что осадки сооружений на песчаных основаниях (даже водонасыщенных) протекают значительно быстрее, чем на глинистых основаниях. Такой факт также свидетельствует о большом преимуществе песчаных грунтов, как оснований зданий и сооружений, по сравнению с пылеато-глинистыми грунтами. Песчаные грунты также широко и эффективно используются в строительстве как инертный материал.

### 3.2.3. Пылевато-глинистые грунты

В соответствии с ГОСТ 25100-2011 к глинистым грунтам относится связный минеральный грунт, обладающий числом пластичности  $I_p > 1$ . Эти горные породы независимо от их химического и минералогического состава образуют с водой пластическое тесто. Поскольку глинистые грунты состоят из пылеватых (0,05-0,005мм) и глинистых (менее 0,005мм) частиц, эти грунты по СНиП 2.02.01-83\* «Основания зданий и сооружений» называются пылевато-глинистыми грунтами.

Наличие между частицами пылевато-глинистого грунта связанной (пленочной) воды определяет его пластичность. При этом, чем толще пленки воды, тем меньше прочность грунта, и наоборот. Изменение толщины пленок воды, окружающих частицы пылевато-глинистого грунта, приводит к изменению его состояния от текучего до твердого. При малой толщине пленок воды пылевато-глинистые грунты обладают сцеплением. Поскольку сцепление в значительной степени обусловлено наличием связанной воды, такие грунты обладают ползучестью.

Увлажнение пылевато-глинистого грунта приводит к увеличению толщины пленок воды между частицами и сопровождается увеличением объема грунта, т.е. грунт набухает. Наоборот, при высыхании пылевато-глинистые грунты уменьшаются в объеме вследствие утончения пленок воды (усадка). Так как связность грунта обусловлена наличием пленочной воды или растворимых солей, увлажнение приводит к полному его размоканию.

Пылевато-глинистые грунты, особенно содержащие коллоидные частицы, обладают свойствами пластичности, ползучести, набухаемости при увлажнении, усадки при высыхании, размокаемости, водонепроницаемости, тиксотропности и т. д.

Если все поры пылевато-глинистого грунта заполнены водой, фильтрация практически невозможна. В связи с этим строители используют перемятую глину в качестве гидроизоляционного материала (глиняный замок). Связность

(прочность) грунта, зависящая от толщины рыхлосвязанной воды, может резко снижаться при нарушении определенного расположения молекул воды и частиц (например, при динамических воздействиях или перемятии). Возможно, со временем восстановление прочности пылевато-глинистого грунта нарушенной структуры (явление тиксотропии).

Пылевато-глинистые грунты, которые являются связными, подразделяют на супеси, суглинки и глины. К пылевато-глинистым грунтам относятся также лессовые грунты и илы. В пылевато-глинистых грунтах выделяются просадочные грунты, которые при замачивании водой дают дополнительную осадку (просадку), и набухающие грунты, которые при замачивании водой или химическими растворами увеличиваются в объеме.

Пылевато-глинистые грунты широко распространены в земной коре и занимают примерно 65-80% осадочных пород [12]. Эти грунты служат основаниями зданий и сооружений, средой для размещения в них различных сооружений (трубы, подземные сооружения, тоннели, метрополитены и др.), материалом самих сооружений (насыпи; земляные плотины, дамбы, диафрагмы) и применяются как сырье для производства строительных материалов и изделий.

Пылевато-глинистые грунты наиболее чувствительны к влаге. Если в маловлажном состоянии (твердое и полутвердое) эти грунты прочны и малодеформируемы, то с повышением влажности прочностные и деформационные показатели этих грунтов резко снижаются. Расчетное сопротивление этих грунтов  $R_0$  с повышением коэффициента пористости  $e$  и показателя текучести  $I_L$  резко снижается. Например, если в глинах при  $I_L \leq 0$  и  $e = 0,5-0,7$   $R_0 = 600$  и  $400$  кПа соответственно, то при  $I_L = 1,0$  и  $e = 0,8-1,1$   $R_0 = 200$  и  $100$  кПа. Если в крупнообломочных и песчаных грунтах осадки сооружений завершаются относительно быстро, то в пылевато-глинистых грунтах деформации протекают медленно и долго, в течение нескольких (даже десятков) лет.



Пылевато-глинистые грунты обладают такими водно-физическими свойствами, как пластичность, набухание, усадка, размокание и липкость. Пластичность, как особо важное свойство пылевато-глинистых грунтов, подробно рассмотрена в п. 5.7.

**Усадкой** называют свойства глинистых грунтов уменьшаться в объеме при высыхании. При высыхании грунт переходит в твердое или полутвердое состояние, появляются трещины и нарушаются структурные связи.

**Набухание** глинистого грунта обусловлено увеличением его объема при поглощении воды. Набухание грунта происходит вследствие утолщения пленок связанной воды, увеличением расстояния между частицами и общим объемом грунта. Это вызывает развитие давления набухания, которое составляет 0,3 – 0,5 МПа, и тем самым представляет определенную опасность некоторым видам зданий и сооружений. К набуханию склонны связные грунты, особенно супеси и суглинки, а также пылеватые пески.

**Размокание** характерно для глинистых пород, погруженных в воду. Интенсивность размокания грунта зависит от вида и водоустойчивости структурных связей, а также содержания в грунте глинистых частиц. Размокание сопровождается распадом частиц грунта.

**Липкость (прилипаемость)** – способность связного грунта прилипать к различным материалам, находящимся в соприкосновении [12]. Липкость обусловлена вязкостью пленок рыхлосвязанной воды. Свойства липкости проявляется в определенном интервале влажности грунта. Липкость характеризуется влажностью начала и максимального прилипания и величиной максимальной липкости. Липкость и пластичность – свойства, дополняющие друг друга. В соответствии с ГОСТ 25100-2011 липкость (прилипаемость)  $L$ , – усилие, необходимое для отрыва плоского штампа из заданного материала от грунта после их контакта в течение заданного времени при определенном давлении.



По липкости (прилипаемости) (ГОСТ 25100-2011) пылевато-глинистые грунты подразделяют согласно таблице 3.1.

Таблица 3.1

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

### 3.2.4. Лессовые грунты

В соответствии со СНиП 2.02.01-83\* лессовые грунты выделены в подгруппе пылевато-глинистых грунтов в самостоятельный тип, как грунты, обладающие специфически неблагоприятными свойствами. Лессовые грунты при замачивании водой дают дополнительную осадку, которая называется просадка. Лессовые грунты по числу пластичности относятся преимущественно к супесям и легким суглинкам.

В настоящее время в нормативно-технической литературе официально закрепился термин «лессовые грунты», который объединяет два понятия: «лесс» и «лессовидные породы».

Лесс - однородная, залегающая плащеобразно, рыхлая, светло-желтой окраски (палевая), не слоистая, высокопористая (с наличием макропор), известковистая горная порода четвертичного возраста. Лессовидные породы характеризуются коричневой и красно-бурой окраской, скрытой и явной слоистостью, часто содержат прослойки песка, галечника и других пород.

Естественно-природные особенности лессовых грунтов могут быть выражены в следующих основных внешних признаках:

- высокая пористость с наличием макропор (до 55 – 60 %);
- однородность состава и отсутствие слоистости;
- большое содержание пылеватых частиц (до 80 – 85 %);
- светло-желтая (палевая) окраска;

- способность лессовой толщи в сухом состоянии держать вертикальный откос значительной высоты (до 8 – 10 м);
- высокая размокаемость и размываемость грунта;
- высокая засоленность карбонатами и сульфатами;
- способность при замачивании водой (увлажнении) проявлять просадку от собственного веса грунта или внешней нагрузки.

Собственно лесс обладает всеми этими признаками, а лессовидные грунты некоторыми из них. Со временем, в результате техногенных воздействий часть внешних признаков могут быть утрачены и лесс может превратиться в лессовидный грунт.

Лессовидные породы менее пористы, чем лесс и они часто по простирацию и с глубиной переходят в обычные непросадочные грунты. В ряде случаев отличить лесс от лессовидного грунта трудно. В отличие от лессовидных пород собственно лесс более однороден по гранулометрическому составу, в них преобладают пылеватые частицы (до 80-85 %). Собственно лесс приурочен к степным и адырным зонам, а лессовидные грунты - более равнинным. Лессы залегают обычно сплошным чехлом, а лессовидные грунты – спорадически.

Лессовые грунты обладают определенной агрессивностью по отношению к бетонам и стали. Величина показателя агрессивности pH в лессовых грунтах колеблется в пределах 5–9 [12]. На возвышенностях лессовые породы характеризуются более низкими значениями pH.

Лессовые грунты широко используются как основания зданий и сооружений. Однако они обладают специфически неблагоприятными свойствами - при замачивании водой под действием внешней нагрузки или только от собственного веса претерпевает вертикальную деформацию, которая называется просадка. Поэтому, эти грунты называются «лессовые просадочные». При строительстве на лессовых просадочных грунтах проводятся специальные мероприятия по подготовке основания, что приводят к удорожанию примерно на 10-15%.

### 3. 2. 5. Почвы

Почвы по зерновому составу близки к суглинкам и супесям. По определению [15] почвы следует рассматривать как наружные (дневные) горизонты горных пород (земли), измененные совместным влиянием воды, воздуха, атмосферных осадков и природно-климатической обстановки, а также различного рода микроорганизмов. Поэтому почвы иногда называются почвенно-растительным слоем. Мощность (толщина) почвенного слоя обычно не превышает 0,4 - 0,7 м

Процессы почвообразования наиболее интенсивно протекают при некоторых климатически благоприятных условиях. Зеленые растения переводят зольные элементы в компоненты органических соединений. Микроорганизмы разрушают отмершие остатки организмов. Разложившиеся растительные остатки дают с минеральными частицами сложные органоминеральные соединения (гумус).

Почвы, как природные грунты, вследствие слабости, неоднородности, большого содержания органических включений обычно не используется в качестве основания зданий и сооружений. Почвенные грунты могут встречаться и на определенной глубине в толще грунтового массива, например лессовой толщи. Такие почвы называются погребенными почвами и могут быть использованы как основание. Находясь, значительное время под действием вышележащих слоев грунта, погребенные почвы могли уплотниться и приобрести свойства, близкие к вмещающим их породам. Почвы, как природное образование, в строительном деле практически не используется.

## 4. ОТБОР, УПАКОВКА, ТРАНСПОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ГРУНТОВ

### 4.1. Общие положения

Физико-механические свойства горных пород в образце несколько отличаются от их свойств в условиях естественного залегания. В условиях естественного залегания породы, как правило, более неоднородны по составу, строению и физическому состоянию и более анизотропны по свойствам. Это обусловлено тем, что, будучи в массиве горные породы обычно имеют поверхности и зоны ослабления, значительно и неравномерно трещиноваты и выветрелы. В горном массиве более резко выражены текстурные признаки (слоистость, сланцеватость, полосчатость и др.), часто они нарушены тектоническими подвижками и имеют различное напряженное состояние в зависимости от положения в геологической структуре района.

Для оценки свойств горных пород и инженерно-геологических условий района строительства, особенно в скальных и полускальных породах, решающее значение имеют данные полевых геологических наблюдений и исследований, а также данные о свойствах горных пород. Данные лабораторных исследований физико-механических свойств имеют неодинаковое значение для различных групп горных пород.

Если горная порода (грунт) будет служить естественным основанием сооружения или средой для него, ее свойства должны изучаться при естественном сложении и влажности (на монолитах). Если она будет использоваться как материал для возведения насыпей, дамб, земляных плотин, ее свойства следует изучать на образцах нарушенного сложения.

Работы по лабораторному изучению физико-механических свойств грунтов состоит из двух этапов. На первом этапе производится отбор необходимого количества проб пород из естественных обнажений, горных выработок и буровых скважин в процессе полевых работ. На втором этапе производится разделка пробы на отдельные образцы и



выполнение собственно лабораторных исследований. При этом сначала из монолита отбирают образцы ненарушенной структуры для определения плотности, показателей прочности и деформативности грунта, а затем остатки используют для других целей.

Достоверность результатов лабораторного изучения физико-механических свойств горных пород во многом зависит от правильности отбора, упаковки, транспортировки и хранения проб и образцов грунтов. Все операции по отбору, упаковке, транспортировке и хранению проб и образцов грунтов для лабораторных исследований должны выполняться в строгом соответствии с требованиями ГОСТ 12071 – 2000.

#### **4.2. Отбор образцов, проб и монолитов грунта**

Отбор образцов и проб грунтов производится во время проведения инженерно-геологических изысканий участка строительства. Количество и объем отбираемых проб или образцов зависит от степени изученности территории, сложности рельефа участка строительства, этажности строящегося здания (или давления фундамента на грунты основания) и регламентируется СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства» [13] и СП 11-1058-97 «Свод правил по инженерным изысканиям для строительства» [14].

Отбор проб (опробование горных пород) производится во время полевых, разведочных и опытных работ на каждой стадии инженерных изысканий. Как было отмечено выше, в зависимости от решаемых практических задач пробы горных пород можно отбирать или в виде монолитов, т. е. образцов естественного сложения и влажности, или в виде образцов нарушенного сложения определенного объема или массы (валовая проба). Образцы грунтов в виде монолитов или валовых проб отбирают в выработках (шурфах, котлованах, траншеях, скважинах) и в естественных отложениях.

На рис. 4.1 представлен отбор монолитов грунта со дна и стенки шурфа. Такая методика характерна в основном при проведении инженерно-геологических изысканий строительных участков и площадок.



Рис.4.1. Отбор монолитов грунта со дна и стенки шурфа

В настоящее время, наряду с новым строительством, стало актуально реконструкция и надстройка существующих зданий. В таких случаях вначале требуется комплексное обследование реконструируемого здания и составление заключения о его техническом состоянии. При этом особое значение имеет обследование фундаментов и проведение контрольных исследований грунтов основания. В таких случаях приходится пройти шурфы вплотную к фундаментам, как с наружи, так и внутри здания, а монолиты грунта отбирать непосредственно из-под подошвы фундамента (рис.4.2, 4.3).



Рис.4.2. Обнажение фундаментов для их обследования и отбора проб грунта



Рис.4.3. Отбор монолита грунта из-под фундамента

Монолиты грунта отбирают также при контроле плотности-влажности уплотненных грунтов, например при послойном контроле плотности грунтовой подушки (рис. 4.4).



Рис.4.4. Отбор монолита грунта при контроле плотности укатанного слоя грунтовой подушки

В практике строительства встречаются случаи, когда грунтовая подушка уже полностью устроена, а потом встаёт вопрос контроля плотности грунта. В таких случаях следует пройти шурф не сразу на всю высоту грунтовой подушки, а с отбором монолитов с каждого слоя «сверху вниз» (рис. 4.5).

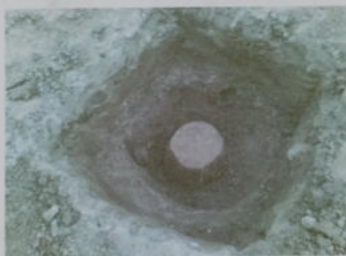


Рис.4.5. Проходка шурфа с отбором монолитов послойно «сверху вниз»

Количество (объем) отбираемых проб зависит от поставленной задачи. Для определения полного комплекса физико-механических свойств горных пород проба должна состоять из двух-трех монолитов или достаточного количества



валовой пробы. Монолиты, т.е. пробы ненарушенной структуры, как правило, отбирают из скальных и связных грунтов. В крупнообломочных и песчаных грунтах отбирают валовые пробы нарушенной структуры. Для этих грунтов плотностные показатели и механические характеристики определяются данными полевых опытов.

Монолиты грунтов имеют форму цилиндра, куба, параллелепипеда, кусков керна (диаметром не менее 80мм, общей длиной 1,2-1,5м). В открытых выработках (шурфах, расчистках, котлованах) их отбирают с зачищенных забоев или стенок, в буровых скважинах — с зачищенного забоя. Рекомендуемые размеры монолитов: из скальных и полускальных пород от 25х25х25 до 30х30х30 см, из связных грунтов - от 15х15х15 до 30х 30х30 см. Монолиты грунтов сразу готовят к упаковке и отмечают их ориентировку (верх и низ) (рис.4.6). Способ отбора монолитов из открытых выработок и скважин должен обеспечивать полную сохранность естественного сложения пород в монолитах.



Рис.4.6. Монолиты грунта: обработка и подготовка к упаковке

Монолиты горных пород, не сохраняющие естественное сложение без жесткой тары, из открытых выработок отбирают методом режущего кольца, а из скважин - грунтоносами, снабженными специальными гильзами диаметром не менее 80 мм. В водонасыщенных песчаных и слабых грунтах, а также при исследовании грунтов на большой глубине пробы грунта отбирают в скважинах с помощью специальных грунтоносов.

Диаметр грунтоноса обусловлен диаметром колец, применяемых в компрессионных и сдвиговых приборах.

Каждая проба (монолит или валовая проба) должна сопровождаться этикеткой, содержащей следующие сведения: наименование организации, экспедиции или партии; номер, место взятия, глубина и дата отбора; наименование породы по полевому определению; подпись лица, отобравшего пробу.

#### 4. 3. Упаковка монолитов и проб грунта

Монолиты, отобранные из горных выработок и буровых скважин, необходимо немедленно изолировать от наружного воздуха и упаковать. Монолит, не помещаемый в жесткую тару, следует запарафинировать. Для этого монолит туго обматывают слоем марли, предварительно пропитанной расплавленным парафином. Затем вес монолит в марле погружения его разными сторонами в расплавленный парафин при температуре 60-65<sup>0</sup>С, обматывают вторым слоем марли и снова погружают в расплавленный парафин. При этом, до парафинирования на верхнюю поверхность монолита следует положить этикетку, завернутую в кальку. Второй экземпляр этикетки следует прикрепить к монолиту после его полного запарафинирования. Этикетки необходимо заполнять четко, простым карандашом или ручкой, исключая возможность обесцвечивания или расплывания записей.

Монолиты, отобранные в жесткую тару, необходимо упаковывать в этой же таре. Открытые торцы тары необходимо закрывать жесткими крышками с резиновыми прокладками. Если резиновые прокладки отсутствуют, места соединения крышки с тарой следует покрыть двойным слоем изоляционной ленты или залить расплавленным парафином. Для увеличения пластичности парафина в него добавляют до 40-50% (по массе) битума (гудрона). В таком виде монолит направляют (доставляют) в лабораторию.

Пробы горных пород нарушенного сложения отбирают в тару, обеспечивающую сохранность мелких частиц (мешочки из плотной ткани, полиэтиленовой пленки, плотной водостойкой бумаги и др.). Объем (количество) таких проб в зависимости от видов исследований составляет от нескольких (для связного и песчаного грунтов) до десятки килограммов (для крупнообломочных грунтов).

#### **4. 4. Транспортировка и хранение образцов грунта**

Образцы грунта для транспортировки упаковывают в деревянные (металлические) ящики и обсыпают их опилками или соломой. На ящике указывается адрес отправителя и получателя. Укладка монолитов в ящик должна быть плотной, с заполнением свободного пространства между ними опилками или соломкой. Ящики следует пронумеровать и сделать надписи: «верх», «не бросать», «не кантовать».

Транспортирование образцов грунтов в виде монолитов или валовых проб должно обеспечивать сохранность их количества, структуру, влажность и состава. Транспортирование образцов грунтов производится в сопровождении ответственного лица. При транспортировке образцы грунтов не должны подвергаться резким динамическим и температурным воздействиям.

Все пробы горных пород, поступающие в лабораторию для определения физико-механических свойств, регистрируются в специальном журнале. В лаборатории образцы грунта хранятся в специальных помещениях при температуре не ниже 2-5 и не выше 20-25<sup>0</sup>С, с влажностью воздуха не ниже 70%. Срок хранения монолитов не должен превышать 1-1,5 месяца. Сроки хранения упакованных монолитов при отсутствии специальных помещений или камер не должны превышать 15 суток.

#### 4. 5. Разделка монолита грунта на отдельные пробы и образцы

Монолит грунта, доставленный в лабораторию, регистрируют в специальном журнале, освобождают от парафина и разделяют на отдельные образцы и пробы для лабораторных исследований (рис.4.7). В первую очередь из разных трех-четырех мест отбирают пробы для определения природной влажности грунта. Далее из монолита отбирают образцы ненарушенной структуры для определения плотности, показателей прочности и деформативности грунта, а затем остатки используют для других целей.

Из кусков или кернов скальных пород выпиливают образцы кубической или цилиндрической формы для исследования пределов прочности на сжатие и растяжение с последующим определением по расчету других механических и технологических параметров породы.

Из образцов песчаных и крупнообломочных грунтов отбирают пробу для определения влажности. Методом квартования отбирают пробу для гранулометрического анализа ситовым методом с последующим определением содержания заполнителя и пылевато-глинистых частиц в заполнителе.

Таким образом, сначала отбирают образцы и пробы для тех исследований, для которых необходимы грунты природного сложения и естественной влажности.



Рис. 4.7. Разделка монолита грунта на отдельные пробы и образцы



## 5. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

### 5.1. Физические величины и система единиц

Показатели физического состояния отражают сущность отображаемого свойства грунта, его параметров, явлений и процессов, происходящих в грунте под действием внутренних и внешних воздействий. Для отображения показателей физического состояния грунтов важными являются такие величины и определения, как «масса» и «вес».

**Масса (m).** Масса применяется в тех случаях, когда имеется в виду свойство тела или вещества, характеризующее их инерционность и способность создавать гравитационное поле. Масса – скалярная величина. Масса приводится в качестве характеристики материалов, изделий и конструкций в стандартах, в спецификации на чертежах. Например, при проектировании строительных конструкций и фундаментов указывается масса оборудования, а не его вес. Масса измеряется в граммах (г), килограммах (кг), тоннах (т).

**Вес (P).** Вес, равный  $P = mg$ ; ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - ускорение свободного падения) применяется в тех случаях, когда имеется в виду сила, возникающая вследствие взаимодействия массы с гравитационным полем. Вес – векторная величина. Вес пропорционален ускорению, сообщаемому свободному телу силой тяжести, т.е. под действием земного притяжения. Вес, как любая сила выражается в ньютонах (Н), килоньютонах (кН), мега ньютонах (мН) и т.п.

Ниже приводятся единицы измерения физических величин и их соотношения, которые использованы в данной работе.

Объем			Масса		
Кубический метр, ( $\text{м}^3$ )	Кубический дециметр ( $\text{дм}^3$ )	Кубический сантиметр ( $\text{см}^3$ )	Тонна (т)	Килограмм (кг)	Грамм (г)
1	$10^3$	$10^6$	1	$10^3$	$10^6$
$10^{-3}$	1	$10^3$	$10^{-3}$	1	$10^3$
$10^{-6}$	$10^{-3}$	1	$10^{-6}$	$10^{-3}$	1

Сила и вес				
Ньютон, (Н)	Килоньютон, (кН)	Мега ньютон, (МН)	Тонна-сила, (тс)	Килограмм-сила, (кгс)
$10^6$	$10^3$	1	$10^2$	$10^5$
$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-1}$	$10^2$
1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-1}$

Давления, напряжения и модули деформаций				
Паскаль, ( $\text{Па}=\text{Н}/\text{м}^2$ )	кило Паскаль ( $\text{кПа}=\text{кН}/\text{м}^2$ )	Мега паскаль МПа( $\text{МН}/\text{м}^2$ )	кгс / $\text{см}^2$	тс / $\text{м}^2$
$10^6$	$10^3$	1	10	$10^2$
$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$

## 5.2. Грунт как трехфазная система

Как было отмечено в п.1.3, природный дисперсный грунт состоит из твердых частиц, между которыми имеются пустоты, называемые порами грунта. В порах грунта находятся вода и газ. Таким образом, грунт в общем случае рассматривается как трехфазная среда, состоящая из твердых частиц, воды и газа, (рис. 5.1). На рис. 5.1 *а* представлено естественно - природное строение грунта, а на рис.5.1 *б,в,г* –грунт представлен в виде технической модели. Когда все поры грунта будут заполнены

водой, такой грунт называется полностью водонасыщенный или грунтовая масса. Если же все поры будут заполнены только газом, т.е. в порах грунта вода отсутствует, такой грунт называется абсолютно сухой. Полностью водонасыщенный и абсолютно сухой грунт рассматриваются как двухфазная (двухкомпонентная) среда. В первом случае (рис. 5.1 *б*) грунт состоит из твердых частиц и воды, во втором случае (рис. 5.1 *г*) грунт состоит из твердых частиц и газа.

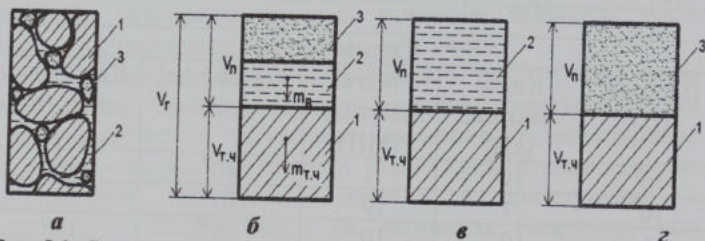


Рис. 5.1. Составные элементы грунта: *а* - природное строение грунта; *б* - трехфазное состояние грунта; *в, г* - двухфазные состояния грунта. 1-твердые частицы; 2- вода; 3- газ.

В естественно-природных условиях абсолютно сухой или полностью водонасыщенный грунт практически не встречается, т.к. в любом природном грунте в том или ином количестве содержатся и вода, и газ. Соотношение воды и газа в разных грунтах разное. В одних грунтах больше воды и меньше газа, в других, наоборот, больше газа и меньше воды, но в итоге они вместе составляют 100%.

Для пояснения показателей физического состояния грунта введем следующие обозначения:  $V_z$  - объем грунта;  $V_{mч}$  - объем твердых частиц;  $V_n$  - объем пор;  $m_z$  - масса грунта;  $m_{mч}$  - масса твердых частиц;  $m_w$  - масса воды;  $m_{г,з}$  - масса сухого (высушенного до постоянного веса) грунта. Массой воздуха пренебрегаем ввиду ее незначительности.

В соответствии с рис.5.1 *б, в, г* во всех трех случаях объем грунта равен

$$V_z = V_{mч} + V_n;$$

В отличие от объема, массы грунта отличаются. Для трехфазного и двухфазного (полностью водонасыщенного) состояний (см. рис.5.1 б,в) масса грунта равна

$$m_z = m_{м.ч} + m_g;$$

Для абсолютно сухого состояния (твердые частицы + газ) (рис.5.1 г) масса грунта равна

$$m_z = m_{м.ч} = m_{с.г} ;$$

Как видно, масса абсолютно сухого грунта равна массе только твердых частиц.

Представление природного грунта в виде трехфазной и двухфазной систем, а также в виде технической модели позволяет более наглядно характеризовать основные показатели состава, физических свойств и состояния грунтов. Основными физическими свойствами грунтов являются: *плотность грунта, плотность частиц грунта и влажность*. Показателем состава грунтов является *гранулометрический (зерновой) состав*, т.е. состав по крупности частиц. Показателями состояния грунтов являются: *плотность сложения частиц, границы пластичности и консистенция, степень влажности грунтов*. Эти свойства взаимосвязаны между собой и в целом характеризуют физическое состояние грунтов, как в условиях естественного залегания, так и в теле грунтовых сооружений (плотина, дамба, насыпь и др.).

*Плотность грунта, плотность частиц грунта, влажность грунта, границы пластичности и гранулометрический состав грунта определяются опытным путем. Другие показатели физического состояния и классификационные показатели грунтов определяются расчетным путем.*

### 5. 3. Плотность и удельный вес

Плотность выражает массу единицы объема и численно равна отношению массы любого вещества к его объёму. Следует различать плотность грунта  $\rho$ , плотность частиц грунта  $\rho_s$ , плотность сухого грунта  $\rho_d$ .



**Плотность грунта.** Плотность характеризует массу единицы объёма и численно равна отношению массы грунта (включая массы воды) к его объёму (включая объём пор). Согласно обозначениям на рис. 5.1, плотность грунта равна

$$\rho = m_z / V_z = (m_{m.ч} + m_a) / (V_{m.ч} + V_n); \quad (5.1)$$

Плотность грунта измеряется в граммах на кубический сантиметр  $[г/см^3]$ , тоннах на кубический метр  $[т/м^3]$ , килограммах на кубический метр  $[кг/м^3]$ .

Плотность является важным показателем физического состояния грунтов, но она не является прямым показателем плотности, как таковой. Плотность грунта по своей сущности напрямую не характеризует плотность сложения частиц грунта. Так как масса грунта включает и массу воды, а объём грунта включает и объём пор, следовательно, плотность грунта зависит не только от плотности сложения частиц (объёма пор), но и от влажности грунта. Поэтому выражение (5.1) характеризует плотность влажного грунта, т.е. плотность грунта при определенной влажности. Для полностью водонасыщенного грунта плотность обозначается  $\rho_{sat}$ .

Плотность природных грунтов в зависимости от их вида и влажности колеблется в широких пределах  $\rho = 1,4 - 2,2 г/см^3$  ( $т/м^3$ ). Плотность грунта определяется опытным путем: в лабораторных условиях - на образцах ненарушенной структуры, в полевых условиях - в массивах грунта природного сложения. При прочих равных условиях, чем больше величина плотности, тем меньше в грунте объём пор и, следовательно, более плотный грунт и, наоборот, чем меньше величина плотности, тем больше в грунте объём пор и более рыхлый грунт. В целях повышения плотности более рыхлые (слабые) грунты уплотняются.

Существуют несколько методов определения плотности грунта: *метод режущего кольца (ГОСТ 5180-84), метод парафинирования, метод непосредственных измерений, метод гидростатического взвешивания (ГОСТ 5180-84), метод замещения объёма (метод лунки) (ГОСТ 28514-90).*

Методы режущего кольца, парафинирования и гидростатического взвешивания используются чаще в лабораторных условиях, а методы непосредственных измерений и замещения объема (метод лунки) — в полевых условиях. Методы определения плотности грунта отличаются друг от друга только методикой и способом определения объема грунта.

В методах режущего кольца и непосредственных измерений объем грунта определяется путем замера размеров и вычисления объема по формулам геометрических фигур. В методах гидростатического взвешивания и парафинирования объем грунта определяется путем погружения грунта в воду, как по потере веса, так и по объему вытесненной воды согласно закону Архимеда. В методе замещения объема объем грунта определяется путем заполнения лунки однородным инертным материалом или водой.

**Плотность частиц грунта.** Плотность частиц грунта отражает плотность его твердой части и численно равна отношению массы твердых частиц к их же объему (без учета пор). Так как масса твердых частиц равна массе абсолютно сухого грунта (см. рис.5.16), следовательно, можно сказать, что плотность частиц грунта равна отношению массы абсолютно сухого грунта к объему твердых частиц.

$$\rho_s = m_{m.ч} / V_{m.ч} = m_{с.г} / V_{m.ч}; \quad (5.2)$$

Плотность частиц грунта измеряется в тех же единицах, что и плотность грунта.

Плотность частиц грунта  $\rho_s$  является показателем минералогического состава грунта и зависит от их дисперсности. Чем мельче частицы грунта, тем больше значение  $\rho_s$  и наоборот. Следовательно, плотность частиц пылевато-глинистых грунтов больше, чем у песчаного грунта, так как удельная поверхность глинистых частиц намного больше, чем у песчаных частиц. Плотность частиц грунта не зависит от

пористости и влажности грунта, поэтому для дисперсных грунтов всегда  $\rho_s > \rho$ . Наличие органических веществ снижет в целом плотность частиц грунта.

Плотность частиц грунтов колеблется в широких пределах: для скальных грунтов  $\rho_s = 2,70 - 3,30 \text{ г/см}^3$ , для нескальных (дисперсных) грунтов -  $2,60 - 2,80 \text{ г/см}^3$ . Часто встречающиеся и средние значения плотности частиц песчаных и пылевато-глинистых грунтов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Грунт	Плотность частиц $\rho_s$ , $\text{г/см}^3$	
	диапазон	среднее значение
Песок	2,65 - 2,67	2,66
Супесь	2,68 - 2,72	2,70
Суглинок	2,69 - 2,73	2,71
Глина	2,72 - 2,75	2,73

Плотность частиц грунта определяется опытным путем, с помощью специальных стеклянных мерных колб (пикнометров) объемом не менее  $100 \text{ см}^3$  (пикнометрический метод - ГОСТ 5180-84).

**Плотность сухого грунта.** Для оценки степени уплотнения грунтов используется плотность сухого грунта (плотность скелета грунта), не зависящая от влажности. Плотность сухого грунта (плотность скелета) характеризует уплотненность и по ее величине судят о качестве (степени) уплотнения грунтов в основаниях зданий и сооружений или в теле земляных сооружений.

Плотность сухого грунта – это отношение массы сухого грунта (массы твердых частиц) к полному объему грунта, т.е.

$$\rho_d = m_{c.z} / V_z = m_{m.ч} / (V_{m.ч} + V_n); \quad (5.3)$$

Плотность сухого грунта определяется расчетным путем по значениям плотности  $\rho$  и влажности  $w$ .

**Удельный вес грунта.** Плотность, как показатель физического состояния грунта, характеризует массу инертного материала. Однако в расчетах механики грунтов и оснований по предельным состояниям учитывается не плотность, а удельный вес грунта ( $\gamma$ ), отражающий силу тяжести. Удельный вес численно равен отношению веса грунта к его полному объему (вместе с порами). Так как вес определяется путем умножения массы на ускорение свободного падения ( $g$ ), следовательно, удельный вес равен

$$\gamma = m g / V = \rho g ; [\text{кН/м}^3] \quad (5.4)$$

В геотехнических расчетах и расчетах оснований по предельным состояниям применяют:

- удельный вес грунта (влажного)  $\gamma = \rho g ;$
- удельный вес сухого грунта  $\gamma_d = \rho_d g ;$
- удельный вес частиц грунта  $\gamma_s = \rho_s g ;$
- удельный вес воды  $\gamma_w = \rho_w g ;$
- удельный вес грунта во взвешенном состоянии  $\gamma_{sb} ;$
- удельный вес грунта при полном водонасыщении  $\gamma_{sat} ;$

где:  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - ускорение свободного падения.

Плотность воды в расчетах и опытных определениях принимается  $1,0 \text{ г/см}^3$ .

Единицы измерений плотности и удельного веса связаны:

$$1 \text{ г/см}^3 (\text{т/м}^3) = 9,81 \times 10^6 \text{ кН/10}^6 \text{ м}^3 = 9,81 \text{ кН/м}^3 ;$$

$$\text{Следовательно, } \gamma [\text{кН/м}^3] = 9,81 \times \rho [\text{т/м}^3] ;$$

Для грунтов, залегающих ниже уровня подземных вод, удельный вес определяется с учетом взвешивающего действия воды, так как, в соответствии с законом Архимеда, частицы грунта в воде будут находиться во взвешенном состоянии. Удельный вес грунта во взвешенном состоянии определяется



как разность удельного веса грунта в атмосфере ( $\gamma$ ) и удельного веса воды ( $\gamma_w$ ) [4]

$$\gamma_{sb} = \gamma - \gamma_w; \quad \text{или} \quad \gamma_{sb} = \gamma - 1; \quad (5.5)$$

Следует указать, что выражение (5.5) может быть использовано для грунта с любой водонасыщенностью – при полном и неполном заполнении пор водой. Однако в этом случае считается, что имеющийся в порах воздух не замещается водой.

Для случая полного замещения пор грунта водой (воздух отсутствует) удельный вес грунта во взвешенном состоянии определяется по формуле

$$\gamma_{sb} = (\gamma_s - \gamma_w) / (1 + e); \quad (5.6)$$

где  $e$  - коэффициент пористости грунта.

#### 5. 4. Влажность грунтов

Влажность характеризуется количеством воды, содержащейся в порах грунта. Влажность грунта в условиях естественного залегания называется природной или естественной влажностью. Различают весовую, объемную и относительную влажность грунта. Влажность грунта выражается в процентах (%) или долях единицы (д. е.).

**Весовая влажность** - отношение массы воды, содержащейся в порах грунта, к массе сухого грунта (твердых частиц), т.е.

$$w = m_g / m_{m.ч}; \quad (5.7)$$

Весовая влажность определяется опытным путем на пробах грунта нарушенной или ненарушенной структуры.

Весовую влажность грунта можно выразить через плотности  $\rho$  и  $\rho_d$  также по зависимости

$$w = (\rho - \rho_d) / \rho_d; \quad (5.8)$$

Объемная влажность - отношение объема воды, содержащейся в порах грунта, к объему твердых частиц (скелета грунта). Объемная влажность может быть выражена через весовую влажность по зависимости

$$w_v = w \cdot \rho_d; \quad (5.9)$$

где:  $\rho_d$  - плотность сухого грунта (скелета грунта), г/см<sup>3</sup>.

**Относительная влажность** - отношение объема воды к объему пор, выраженное в долях единиц. Относительная влажность характеризует степень заполнения пор грунта водой и называется *степенью влажности или коэффициентом водонасыщения*. Степень влажности (коэффициент водонасыщения) численно равна отношению естественной влажности ( $w$ ) к полной влагоемкости, т.е. влажности, соответствующей полному заполнению пор водой ( $w_{sat}$ ).

### 5.5. Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов

Грунтовая толща, как правило, неоднородна и состоит из инженерно - геологических элементов (ИГЭ) (слоев грунта). В пределах каждого элемента характеристики грунта не всегда постоянны, а изменчивы как случайные величины. Для того чтобы указанные выше физические характеристики в среднем отражали свойства грунта слоя, из него должно быть отобрано достаточное для статистической обработки результатов количество проб.

Различают нормативные и расчетные значения характеристик грунта. Для определения нормативного значения характеристики находится среднее арифметическое значение результатов частных определений этой характеристики. Далее проверяют, не содержатся ли среди частных определений какие-либо данные с грубым отклонением от общей совокупности

результатов. Исключению из общей выборки подлежат максимальные или минимальные значения характеристики.

Если такие отскоки отсутствуют, то в качестве нормативного значения характеристики принимают среднее арифметическое значение. Если отскоки имеются, то эти значения исключаются из выборки, вновь определяется среднее арифметическое и вновь делается проверка на наличие отскоков. После такой чистки число определений должно быть не менее шести.

Количество определений для определения нормативных и расчетных значений характеристик грунтов устанавливается в зависимости от степени неоднородности грунтов основания, требуемой точности вычисления и класса сооружения [16].

Принятые нормативные значения характеристики из-за естественной неоднородности грунта содержит некоторую погрешность. Чтобы снизить ее влияние, в расчетах используются так называемые расчетные характеристики грунтов. Расчетное значение характеристики грунта  $X$  определяется делением нормативной характеристики  $X_n$  на коэффициент надежности по грунту  $\gamma_g$

$$X = X_n / \gamma_g; \quad (5.10)$$

Коэффициент надежности по грунту  $\gamma_g$  при вычислении расчетного значения плотности грунта, расчетных значений прочностных характеристик (удельного сцепления  $c$  и угла внутреннего трения  $\varphi$ ) нескальных грунтов и предела прочности на одноосное сжатие скальных грунтов  $R_c$  устанавливается в зависимости от изменчивости этой величины, числа определений и значений доверительной вероятности  $\alpha$  [16]. Для других характеристик допускается принимать  $\gamma_g = 1$ . Доверительная вероятность  $\alpha$  расчетных значений характеристик грунтов принимается при расчетах оснований по несущей способности  $\alpha = 0,95$ , по деформациям -  $\alpha = 0,85$ .

Основными параметрами механических свойств грунтов, определяющими несущую способность и деформаций оснований, являются прочностные и деформационные характеристики грунтов (удельное сцепление  $c$ , угол внутреннего трения  $\phi$ , модуль деформации грунтов  $E$ , предел прочности на одноосное сжатие скальных грунтов  $R_c$ ). Расчетные значения характеристик грунтов  $c$ ,  $\phi$  и  $\gamma$  в расчетах оснований по несущей способности обозначаются как  $c_I$ ,  $\phi_I$  и  $\gamma_I$ , а в расчетах по деформациям как  $c_{II}$ ,  $\phi_{II}$  и  $\gamma_{II}$ .

Расчетное значение удельного веса грунта  $\gamma$  устанавливается умножением расчетного значению плотности грунта на ускорение свободного падения.

Для предварительных расчетов оснований, а также для окончательных расчетов оснований зданий и сооружений II и III классов, опор воздушных линий электропередачи и связи допускается принимать нормативные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов по таблицам СНиП 2.02.01-83\*. В таких случаях расчетные значения характеристик принимаются при следующих значениях коэффициента надежности по грунту  $\gamma_g$ :

- в расчетах основания по деформациям -  $\gamma_g = 1$ ;
- в расчетах оснований по несущей способности: для удельного сцепления -  $\gamma_g = 1,5$ ; для угла внутреннего трения песчаных грунтов -  $\gamma_g = 1,1$ ; для угла внутреннего трения связных грунтов -  $\gamma_g = 1,15$ ;

Рекомендации по выделению инженерно-геологических элементов и способы статистической обработки результатов определения характеристик грунтов приведены в ГОСТ 20522.



## 5. 6. Пористость, коэффициент пористости, степень влажности. Основные зависимости

Как было сказано выше, грунт состоит из твердых частиц, между которыми имеются поры. В грунте объем пор характеризуется такими показателями, как пористость и коэффициент пористости. Введем дополнительные обозначения:  $n$  – объем пор в объеме грунта;  $m$  – объем твердых частиц в объеме грунта. Так как объем грунта складывается из объемов твердых частиц и пор, следовательно, в единичном объеме грунта  $m + n = 1$ . Отсюда  $m = 1 - n$ ;  $n = 1 - m$ .

**Пористость** представляет собой отношение объема пор ( $V_n$ ) ко всему объему грунта ( $V_z$ ) и обозначается через  $n$ ,

$$n = V_n / V_z;$$

Пористость характеризует объем пор в единице объема грунта.

**Коэффициент пористости** равен отношению объема пор к объему твердых частиц, т.е.

$$e = V_{m.ч} / V_z = n / m;$$

Так как  $m + n = 1$ ;  $m = 1 - n$ ;  $n = 1 - m$ , между ними существует взаимосвязь

$$e = n / (1 - n); \quad n = e / (1 + e);$$

имея в виду, что  $m = \rho_d / \rho_s$ ;  $n = 1 - \rho_d / \rho_s$ ; имеем

$$n = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s; \quad e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d; \quad (5.11)$$

Коэффициент пористости  $e$ , как классификационный показатель, используется для оценки плотности сложения песчаных грунтов.

Для случая полного водонасыщения грунта ( $S_r \approx 1,0$ ), с учетом выражения 5.9, коэффициент пористости грунта определяется как

$$e = w \rho_s / \rho_w; \quad (5.12)$$

где:  $w$  – влажность, д.е.;  $\rho_s$  и  $\rho_w$  – соответственно плотность твердых частиц и воды.

Коэффициент пористости является одной из важнейших характеристик грунта, которая непосредственно используется в расчетах. В песчаных грунтах коэффициент пористости характеризует плотность сложения частиц. По коэффициенту пористости песчаные грунты могут находиться в состоянии плотного, средней плотности и рыхлого сложения.

Важным показателем физического состояния грунтов является степень влажности (коэффициент водонасыщения  $S_r$ ), характеризующий степень заполнения пор грунта водой. Как было отмечено в п. 5.4, степень влажности равна отношению природной влажности грунта к полной влагоемкости

$$S_r = w / w_{sat};$$

где:  $w$  - природная влажность грунта;

$w_{sat}$  - полная влагоемкость.

Полная влагоемкость равна отношению массы воды в объеме пор  $[e / (1+e)] \rho_w$  к массе твердых частиц  $[1 / (1+e)] \rho_s$ . Следовательно

$$w_{sat} = e \rho_w / \rho_s; \quad (5.13)$$

Тогда степень влажности будет равна

$$S_r = w \rho_s / e \rho_w; \quad (5.14)$$

Степень влажности грунта, которая меняется от нуля (абсолютно сухой грунт) до единицы (полностью водонасыщенный грунт), является классификационным показателем песчаных и крупнообломочных грунтов. В зависимости от степени влажности  $S_r$  крупнообломочные и песчаные грунты подразделяют согласно таблице 2.16.

## 5.7. Пластичность и консистенция связных грунтов

**Пластичность** свойственна связным (пылевато-глинистым) грунтам. Пластичность – способность материала изменять свою форму и размеры без разрыва сплошности под действием внешней нагрузки и сохранять полученную форму после снятия нагрузки. Пластичность характеризует содержание в грунте глинистых частиц, т.е. частиц размерами менее 0,005мм и с увеличением их содержания пластичность грунта повышается. Чем больше в грунте глинистых частиц, тем пластичнее грунт. Песчаные грунты не пластичны, так как в них содержание глинистых частиц составляет менее 3%. Пылевато-глинистый грунт при определенной влажности может раскатываться в шнур, а песок не раскатывается. Содержание примесей органических веществ повышает, а содержание различных солей, наоборот, снижает пластичность грунта [12].

**Консистенция** характеризует состояние пылевато-глинистого грунта в зависимости от влажности. При малой влажности связный грунт имеет твердую консистенцию и при действии нагрузки крошится, т.е. хрупко разрушается. При некоторой влажности грунт становится пластичным как тесто, из которого можно лепить. Консистенция характеризует густоту и вязкость грунтового теста. При большой влажности грунт становится текучим, из которого уже нельзя лепить. Для количественной оценки консистенции используется показатель текучести, в зависимости от которого пылевато-глинистые грунты могут находиться в твердом, пластичном и текучем состояниях (рис.5.2).

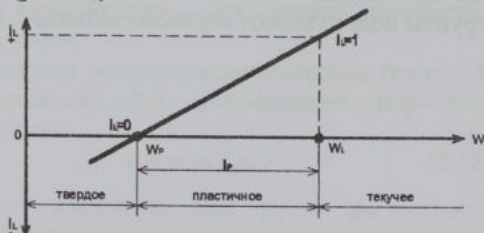


Рис. 5.2. Состояния связных грунтов в зависимости от влажности

Как видно из рис. 5.2, пластичное состояние грунта имеет две границы, которые соответствуют определенным значениям влажности. Влажность на границе твердого и пластичного состояний называется *нижней границей пластичности или влажностью на границе пластичности (раскатывания)  $w_p$* . Влажность на границе пластичного и текучего состояний называется *верхней границей пластичности или влажностью на границе текучести  $w_L$* .

Границы пластичности впервые были определены шведским ученым Аттербергом, поэтому они иногда называются границами Аттерберга. Таким образом, связные (пылевато-глинистые) грунты, кроме естественной (природной) влажности, имеют еще две характерные влажности: *влажность на границе пластичности (раскатывания)  $w_p$  и влажность на границе текучести  $w_L$* . Эти характерные влажности также определяются опытным путем.

Разность между влажностями на границах текучести  $w_L$  и пластичности  $w_p$  называется числом (индексом) пластичности

$$I_p = w_L - w_p; \quad (5.15)$$

Число пластичности характеризует содержание глинистых частиц в грунте, т.е. глинистость грунта. Чем больше в грунте глинистых частиц, тем больше число пластичности  $I_p$ . Число пластичности является классификационным показателем связных грунтов. В зависимости от числа пластичности  $I_p$  связные грунты делятся на супеси, суглинки и глины (см. табл. 2.12). В свою очередь супеси, суглинки и глины подразделяются на разновидности в зависимости от содержания в них песчаных частиц (см. табл. 2.14). В песках содержание глинистых частиц менее 3%, поэтому они не пластичны ( $I_p < 1$ ).

Для численной оценки консистенции грунта введен показатель текучести (показатель консистенции  $I_L$ ), который определяется

$$I_L = (w - w_p) / (w_L - w_p) = (w - w_p) / I_p; \quad (5.16)$$



Как видно из рисунка 5.2, при отрицательных значениях показателя текучести ( $I_L < 0$ ) связный грунт находится в твердом состоянии. При значениях  $0 \leq I_L \leq 1$  грунт находится в пластичном состоянии, а при  $I_L > 1$  - в текучем состоянии.

Показатель текучести используется как классификационный показатель связных грунтов, в соответствии с которым пылевато-глинистые грунты делятся на разновидности согласно табл. 2.15.

Показатель текучести (консистенция), характеризующий густоту и вязкость связного грунта, напрямую зависит от величины природной (естественной) влажности  $w$  и числа пластичности  $I_P$ . Очевидно, что при  $w < w_P$  показатель текучести  $I_L < 0$  и грунт находится в твердом состоянии; при  $w_P < w \leq w_L$  показатель текучести  $0 \leq I_L \leq 1$  и грунт находится в пластичном состоянии; при  $w > w_L$  показатель текучести  $I_L > 1$  и грунт находится в текучем состоянии. Если при  $0 \leq I_L \leq 1$  супеси подразделяются на тугопластичные и мягкопластичные, то суглинки и глины при  $0 \leq I_L \leq 1$  подразделяются на полутвердые, тугопластичные, мягкопластичные и текучепластичные (см. табл. 2.15).

## 5.8. Характеристики, определяемые расчетным путем

Как было отмечено выше, основными показателями физического состояния грунтов являются: плотность грунта  $\rho$ , плотность частиц грунта  $\rho_s$  и природная влажность  $w$ . Эти характеристики взаимосвязаны между собой и в целом характеризуют физическое состояние грунтов. Они определяются опытным путем.

На основе этих опытных данных, а также влажности на границах пластичности (раскатывания)  $w_P$  и текучести  $w_L$ , которые свойственны только пылевато-глинистым грунтам, расчетным путем определяются другие характеристики физических свойств и классификационные показатели грунтов. В нижеследующей таблице приводятся их расчетные формулы с указанием единиц измерений (таблица 5.2)

Таблица 5.2

Характеристика	Формула	Единица измерения
Плотность сухого грунта	$\rho_d = \rho / (1 + w)$	г/см <sup>3</sup> , т/м <sup>3</sup>
Объемная влажность	$w_v = w \rho_d$	доли ед., %
Степень влажности	$S_r = w \rho_s / e \rho_w$	доли ед., %
Пористость (объем пор)	$n = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s$	доли ед., %
Коэффициент пористости	$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$	не имеет
Полная влагоемкость	$w_{sat} = e \rho_w / \rho_s$	доли ед., %
Степень влажности	$S_r = w \rho_s / e \rho_w$	доли ед., %
Число пластичности	$I_P = w_L - w_P$	доли ед., %
Показатель текучести	$J_L = (w - w_P) / J_P$	не имеет
Плотность грунта во взвешенном состоянии	$\rho_{sa} = (\rho_s - \rho_w) / (1 + e)$	г/см <sup>3</sup> , т/м <sup>3</sup>
Удельный вес:		
- грунта	$\gamma = \rho g$	кН/м <sup>3</sup>
- сухого грунта	$\gamma_d = \rho_d g$	кН/м <sup>3</sup>
- частиц грунта	$\gamma_s = \rho_s g$	кН/м <sup>3</sup>
- грунта во взвешенном состоянии	$\gamma_{sb} = \rho_{sa} g = (\gamma_s - \gamma_w) / (1 + e)$	кН/м <sup>3</sup>
-грунта при полном водонасыщении	$\gamma_{sat} = \rho_{sat} g = \gamma_d (1 + w_{sat})$	кН/м <sup>3</sup>
- воды	$\gamma_w = \rho_w g$	кН/м <sup>3</sup>

### 5.9. Классификационные показатели грунтов

В природных условиях грунты имеют различный состав, различную структуру и текстуру, могут находиться в различном физическом состоянии. Чтобы оценить свойства грунтов и их поведения при возведении на них сооружений, необходимо отнести грунты к тому или иному типу, классу, виду, т.е. необходимо их классифицировать по различным признакам и показателям. Полный перечень классификационных показателей грунтов (горных пород) приведены в межгосударственном стандарте ГОСТ 25100-2011 и их основная часть – в главе 1 настоящей работы.

Здесь приводятся те классификационные показатели нескальных (дисперсных) грунтов, которые позволяют установить полное наименование пылевато-глинистых и песчаных грунтов. К ним относятся:

#### - для крупнообломочных и песчаных грунтов

1. Гранулометрический (зерновой) состав, в зависимости от которого крупнообломочные и песчаные грунты делятся на разновидности согласно табл. 2.11.

2. Коэффициент пористости  $e$ , в зависимости от которого песчаные грунты делятся на разновидности согласно табл. 2.17.

3. Степень влажности (коэффициент водонасыщения  $S_r$ ), в зависимости от которой крупнообломочные и песчаные грунты делятся на разновидности согласно табл. 2.16.

#### - для пылевато-глинистых (связных) грунтов

1. Число пластичности  $I_p$ , в зависимости от которого пылевато-глинистые грунты делятся на разновидности согласно табл. 2.12.

2. Показатель текучести  $I_L$ , в зависимости от которого пылевато-глинистые грунты делятся на разновидности согласно табл. 2.15.

Работа [2] рекомендует пользоваться в строительной практике упрощенной классификацией грунтов в зависимости от содержания в них глинистых частиц (мельче 0,005мм). Приведем эту упрощенную классификацию (табл.5.3) с некоторыми изменениями, дополненными данными ГОСТ 25100-2011.

Таблица 5.3

Грунты	Число пластичности, $I_p$	Содержание глинистых частиц, %	Диаметр жгута, мм, при влажности на пределе раскатывания
Глина	$I_p > 17$	Более 30	Менее 1
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$	30 - 10	1 - 3
Супесь	$1 < I_p \leq 7$	10 - 3	Более 3
Песок	$I_p < 1$	Менее 3	Не раскатывается

### 5.10. Гранулометрический (зерновой) состав грунтов

Как было отмечено в п. 1.3 нескальные грунты состоят из различных по крупности, по форме и по минералогическому составу твердых частиц. Частицы, близкие по размерам объединяются в определенные группы - фракции. Количественное соотношение (процентное содержание) частиц различной крупности называется гранулометрическим (зерновым или механическим) составом грунта. Под гранулометрическим составом понимается относительное содержание в грунте (по массе) частиц различной фракции.

От гранулометрического состава зависят такие важные физико-механические и водно-физические свойства грунта, как пластичность, пористость, сопротивление сдвигу, сжимаемость, усадка, набухание, пучение, размокание, водопроницаемость и др. Изменение гранулометрического состава грунта вызывает изменение его свойств. Например, с уменьшением размера частиц снижается водопроницаемость.



Гранулометрический состав грунта используется для решения различных инженерно-строительных задач, в частности:

- классификация грунтов по гранулометрическому составу;

- оценка физико-механических и водно-физических свойств грунтов;

- оценка грунтового массива как оснований зданий и сооружений;

- оценка грунта как материал самого сооружения.

Гранулометрический состав является одним из основных классификационных показателей несвязных грунтов. Частицы грунтов в зависимости от их крупности подразделяются на виды, наименования которых принимаются по таблице 2.10. Разновидности крупнообломочных и песчаных грунтов принимают по таблице 2.11.

Частицы гравийно-галечниковой фракции (крупнее 2мм) представляют собой не окатанные обломки горных пород. Частицы песчаной фракции (2-0,05мм) округлые и угловатые, они повышают внутреннее трение грунта. Частицы пылеватой фракции (0,05-0,005мм) имеют пластинчатую и угловатую форму, не обладают связностью и являются как бы заполнителем в песчаной фракции. Частицы глинистой фракции (0,005-0,001мм) имеют чешуйчатую, округлую и игольчатую форму. Глинистые частицы, играя роль вяжущего вещества в грунте, обеспечивают сцепление, придают грунту связность и пластические свойства. Частицы размерами менее 0,001мм образуют коллоидную фракцию, наличие которых повышают связность и пластичность грунта.

Для определения гранулометрического состава грунта проводится ситовой анализ, который состоит в расчленении грунта на фракции, т.е. частицы с близкими размерами. Размеры частиц (фракций) независимо от их крупности выражаются в миллиметрах. Гранулометрический состав частиц крупнее 0,1мм (крупнообломочные и песчаные грунты) определяют просеиванием пробы грунта определенного количества через набор стандартных сит.

Ситовой метод используется для определения гранулометрического состава преимущественно крупнообломочных и песчаных грунтов. При этом методе грунт определенной массы с помощью специального набора сит рассеивают на отдельные фракции, определяют процентное содержание каждой фракции в исходном материале, далее по табл. 2.11 устанавливают вид грунта.

Гранулометрический состав частиц мельче 0,1мм (пылевато-глинистые грунты) определяют методами, основанными на скорости выпадения частиц в суспензии (зависимость Стокса) [17].

Стандартный набор сит (рис.5.3) состоит из семи сит с отверстиями 10,0; 5,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 и 0,1мм. Первые четыре сита имеют круглые отверстия, а остальные три изготавливают из медной сетки простого плетения с квадратной ячейкой. Иногда, как исключение, допускается сито с квадратными отверстиями из медной сетки с ячейками 1,0мм. Сита собирают в колонку так, чтобы размеры их отверстий уменьшались сверху вниз. Под нижнее сито подставляют поддон, а на верхнее сито надевают крышку.



Рис.5.3. Набор стандартных сит

По данным ситового анализа строится суммарная кривая зернового (гранулометрического) состава песчаного грунта в полулогарифмическом масштабе. Для этого по оси ординат откладывают процентное содержание фракций, а по оси абсцисс — логарифмы размеров частиц. Характер кривой показывает

степень неоднородности частиц, составляющих грунт. Если кривая крутая, то грунт неоднороден. Если же кривая пологая – грунт однороден. По кривой однородности песка можно определить процентное содержание в грунте фракций любого размера.

### 5.11. Плотность сложения песчаных грунтов

Для песчаных грунтов важнейшей характеристикой их свойств является плотность сложения, т.е. плотность укладки-упаковки частиц. Для оценки плотности песчаных грунтов используется коэффициент пористости  $e$  (как классификационный показатель), в соответствии с которым сложение песчаных грунтов бывает плотным, средней плотности и рыхлым. Однако коэффициент пористости  $e$  не всегда точно и полно отражает плотность сложения песчаных грунтов, особенно, не кварцевых песков, имеющих различные формы частиц. Поэтому для более общей и достоверной оценки степени плотности песчаных грунтов используется относительная плотность, называемая индексом плотности песка  $I_D$ . Индекс плотности  $I_D$  определяется по формуле

$$I_D = (e_{max} - e) / (e_{max} - e_{min}); \quad (5.17)$$

где:  $e$  – коэффициент пористости при естественном сложении;  
 $e_{max}$  – коэффициент пористости предельно-рыхлого грунта;  
 $e_{min}$  – коэффициент пористости предельно-плотного грунта.

Значение  $e_{max}$  определяется при свободной отсыпке песка в мерный сосуд, а значение  $e_{min}$  определяется при максимальном уплотнении песка постукиванием или вибрированием в мерном сосуде.

Индекс плотности  $I_D$  используется как показатель для оценки степени плотности песчаных грунтов. К глинистым грунтам индекс плотности  $I_D$  не применяется. Значения индекса плотности  $I_D$  изменяется от нуля (когда  $e = e_{max}$ ) до единицы (когда  $e = e_{min}$ ).



В зависимости от значения индекса плотности  $I_D$ , различают три состояния песчаных грунтов:

Рыхлое .....  $0 \leq I_D \leq 0,33$

Средней плотности .....  $0,33 < I_D \leq 0,66$

Плотные .....  $0,66 < I_D \leq 1,0$

Следует отметить, что различные по зерновому составу грунты имеют существенно различные  $e_{max}$  и  $e_{min}$ , причем с увеличением крупности частиц они уменьшаются. Поэтому индекс плотности  $I_D$ , учитывающий как зерновой состав, так и форму частиц, является более объективной характеристикой плотности сложения песчаного грунта. Например, при одном и том же коэффициенте пористости одинаковые по зерновому составу пески могут находиться в состоянии различной степени сложения.

## 5.12. Оптимальная влажность и максимальная плотность грунта

При устройстве искусственных оснований, засышке пазух фундаментов, возведении насыпей и земляных сооружений (плотины, дамбы) и во многих других случаях приходится уплотнять грунты. При этом качество (степень) уплотнения напрямую зависит от влажности уплотняемого грунта и режима уплотнения. Для установления зависимости плотности грунта от его влажности проводится стандартное уплотнение грунта (ГОСТ 22733-2002) на пробах грунта нарушенной структуры.

Установлено, что наибольшее уплотнение достигается при определенной влажности грунта. Влажность, при которой достигается максимальная плотность сухого грунта (скелета)  $\rho_{dmax}$  называется оптимальной влажностью  $w_{opt}$ . Максимальная плотность ( $\rho_{dmax}$ ) — это наибольшее значение плотности сухого грунта, достигаемое при оптимальной влажности при заданном режиме уплотнения. При влажности уплотняемого грунта, большей или меньшей оптимальной  $w_{opt}$ , качество (степень) уплотнения снижается. Графическое изображение зависимости  $\rho_d = f(w)$  представлено на рис. 5.4.



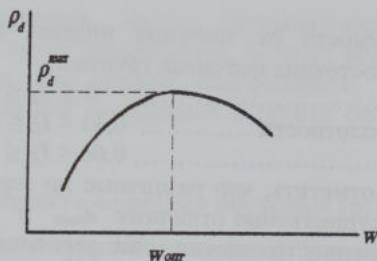


Рис. 5.4. График зависимости  $\rho_d = f(w)$

График зависимости  $\rho_d = f(w)$  описывается уравнением параболы в виде  $y = ax^2 + bx + c$ ; где «у» представляет плотность сухого грунта  $\rho_d$ ,  $x$  - влажность грунта  $w$ . Уплотнение грунта при постепенном повышении влажности является процессом, при котором коэффициент «а» постоянно имеет отрицательное значение. Самая верхняя точка на графике соответствует значению оптимальной влажности  $w_{opt}$ , которая численно равна  $x = -b/2a$ .

При стандартном уплотнении пробы исследуемого грунта нарушенной структуры (5-6 проб) уплотняются при разных влажностях и для каждой пробы после уплотнения определяют плотность грунта  $\rho$  и влажность  $w$  с последующим вычислением плотности сухого грунта  $\rho_d$  по формуле. Число испытаний должно быть не менее пяти, а число значений плотности после максимальной должно быть не менее двух.

Ориентировочные значения влажности для первого испытания приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4

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

Стандартное уплотнение грунтов в лабораторных условиях проводятся в различных приборах и оборудованиях. Сведения о существующих стандартах уплотнения, приборах и оборудовании приведены в таблице 5.5.

Наиболее широко используемыми являются стандартные приборы конструкций СоюздорНИИ (рис.5.5) (ГОСТ 22733-2002) и Проктора. Эти приборы отличаются друг от друга диаметрами трамбовок. В этих приборах груз массой 2,5кг сбрасывается на трамбовку с высоты 0,3м. Количество уплотняемых в цилиндре слоев равно 3, количество ударов по каждому слою равно 40. В дорожном и гидротехническом строительстве используется также модифицированный прибор Проктора, который отличается от предыдущих увеличенной, но также зафиксированной массой груза 4,54кг, высотой сбрасывания груза 0,457м и 5 слоями в образце.

Как известно, в производственных условиях грунты уплотняются методами трамбования и укатки. При этом уплотнение грунтов происходит в разных режимах нагружения: при трамбовании – динамическом режиме нагружения, при укатке – статическом режиме нагружения. Оптимальная влажность и максимальная плотность, определяемые при стандартном уплотнении, скорее соответствуют методу трамбования, так как при этом методе уплотнение грунта производится падающим грузом. Однако результаты стандартного метода механически и необоснованно распространяются и на уплотнение грунтов катками.

Установлено, что оптимальная влажность пылевато-глинистых грунтов близка к влажности на границе пластичности ( $w_p$ ) [10]. По рекомендациям [10], при отсутствии опытных данных, при уплотнении грунтов катками оптимальную влажность можно принимать  $w_{opt} \approx w_p$ , а при уплотнении трамбовками  $w_{opt} \approx w_p - (1-3)\%$ .

Отношение достигнутой плотности сухого грунта  $\rho_{ds}$  к максимальной плотности  $\rho_{dmax}$  называется коэффициентом уплотнения грунта  $K_{comp}$

Таблица 5.5

Стандарты	Проктор	Союз Дор НИИ	Моди- фициро- ванный Проктор	Стандарты США		Стандарты Англии		Стандарты Германии		Метод стати- ческого нагру- жения
				1	2	1	2	1	2	
Характеристики										
Испытательный Цилиндр:										
Диаметр, см	10,2	10,0	10,2	10,8	15,25	10,5	10,5	10,0	10,0	62,0
Высота, см,	11,55	12,7	11,55	15,5	11,4	11,55	11,55	12,0	12,0	40,0
Объем, см <sup>3</sup>	944	1000	944	1416	2082	1000	1000	942	942	120702
Допустимая крупность частиц грунта	1,9	1,0	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	8,0
Количество уплотняемых слоев	3	3	5	3	5	3	5	3	5	1x40
Диаметр трамбовки (штампа), см	5,1	9,5	5,1	5,1	5,1	5	5	5	5	61
Ударный эффект: - масса груза, кг - высота сброса, см - число ударов	2,49 30,5 75	2,5 30,0 120	4,54 45,7 125	2,49 45,7 75	2,49 45,7 275	2,50 30,0 75	4,5 45,0 125	2,50 30,0 75	4,5 45,0 125	0,4 МПа плавная нагрузка 8-10 раз

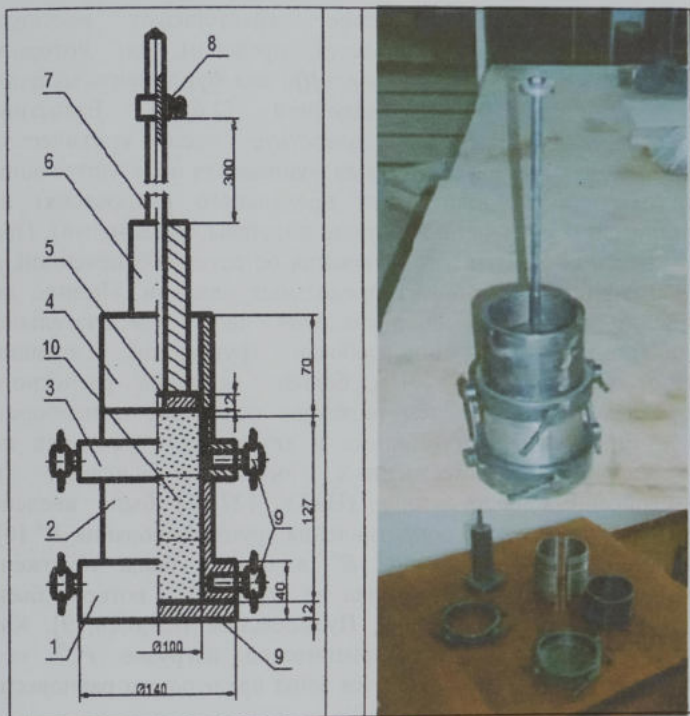


Рис.5.5. Схема, общий вид и детали прибора стандартного уплотнения (ГОСТ 22733-2002):

- 1 - поддон; 2 - разъемная форма (кольцо); 3 - зажимное кольцо;
- 4- насадка; 5- наковальня; 6- груз массой 2,5кг;
- 7- направляющая штанга; 8- ограничительное кольцо;
- 9 - зажимные винты; 10 - образец грунта



### 5.13. Расчетное сопротивление грунта основания

Расчетное сопротивление характеризует несущую способность грунта и является пределом, до которого зависимость «нагрузка-осадка»  $s = f(p)$  для фундамента мелкого заложения принимается линейной [2,6,10]. Расчетное сопротивление грунта  $R$  соответствует такой критической нагрузке, при которой под краями фундамента образуются зоны сдвиговых деформаций (зоны предельного равновесия) на глубину до  $0,25b$  (где  $b$  – ширина подошвы фундамента). При этом несущая способность основания остается обеспеченной, а деформации не превышают предельных величин. Именно по величине расчетного сопротивления дается окончательная оценка о надежности или слабости грунта, как оснований зданий и сооружений. Чем больше величина расчетного сопротивления грунта, тем надежнее основание и наоборот.

Еще в 1955г в «Нормах и технических условиях по проектированию естественных оснований зданий и промышленных сооружений» (НиТУ 127-55) было введено понятие нормативного сопротивления грунта основания  $R^n$  [6]. При определении величины  $R^n$  в основу была положена начальная критическая нагрузка на грунт  $P^{нач}$ , которая была определена еще проф. Н. П. Пузыревским [2,3,6,18,19]. Как известно, при начальной критической нагрузке  $P^{нач}$  под фундаментом еще не образуются зоны предельного равновесия (зоны пластических деформаций).

Позднее в нормативных документах по проектированию оснований зданий и сооружений было введено понятие расчетного сопротивления грунта  $R$ , величина которого по [6] несколько превышает величину нормативного сопротивления грунта  $R^n$ . Как было отмечено выше, при  $R$  под краями фундамента могут образоваться зоны сдвиговых деформаций (зоны предельного равновесия) на глубину до  $0,25b$  (где  $b$  – ширина фундамента).

В СНиП 2.02.01-83\* приведены значения расчетного сопротивления грунтов основания  $R_0$  (табл.1-5, приложение 3).

Следует отметить, что табличные значения  $R_0$  не учитывают прочностные характеристики грунта (удельного сцепления и угла внутреннего трения) и поэтому они предназначены в основном для предварительного определения размеров фундаментов. В отдельных случаях, указанных в СНиП 2.02.01-83\*, табличные значения  $R_0$  могут применяться для окончательного определения размеров фундаментов.

СНиП 2.02.01-83\* рекомендует формулу (формула 7) для определения расчетного сопротивления грунта основания  $R$ , используемого при расчете основания по деформациям. Эта формула получена также на основе формулы Н. П. Пузыревского путем ее представления в виде трехчленного выражения и введения безразмерных коэффициентов, зависящих от угла внутреннего трения грунта. В эту формулу входят также ширина и глубина заложения фундамента, а также значения удельного веса, сцепления и угла внутреннего трения несущего слоя грунта.

## 6. ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

### 6.1. Водно-физические свойства грунтов

Водно-физические свойства грунтов проявляются в их способности изменять состояние, прочность и устойчивость при взаимодействии с водой, поглощать и удерживать воду или фильтровать ее. Зная водно-физические свойства грунтов, можно делать прогноз изменения их прочности и других свойств, а также развитие каких-либо геологических процессов под воздействием воды. Показатели водно-физических свойств грунтов используются в различных инженерных расчетах, например в расчетах потерь воды на фильтрацию, притока воды к строительным котлованам и водозаборам. Кроме того они могут быть использованы при расчете параметров водопонизительных установок, использования грунта как материала для возведения насыпей и плотин и др.

Основными водно-физическими свойствами грунтов, определяющими отношение горных пород к воде, являются: водоустойчивость, влагоемкость, капиллярность и водопроницаемость, водопоглощение и водонасыщение.

#### 6.1.1. Водоустойчивость

**Водоустойчивость** — способность горных пород сохранять свое физическое состояние и прочность при увлажнении или изменении влажностного режима. Водоустойчивость имеет большое значение особенно для мягких связных (пылевато-глинистых) грунтов. Основными показателями водоустойчивости грунтов является: размокаемость, набухание, усадка, размягчаемость и астворимость.

**Размокаемость** — способность пылевато-глинистых грунтов при впитывании воды терять связность, разлагаться и превращаться в рыхлую массу. Размокаемость зависит от гранулометрического, минералогического и химического

состава грунта, характера и водоустойчивости структурных связей. Размокаемость характеризуется временем, характером и скоростью распада образца грунта. Размокаемость, как один из основных показателей водоустойчивости связных грунтов, используется при оценке устойчивости склонов и откосов, насыпей земляного полотна, стен котлованов и в других инженерно-строительных задачах.

Наряду с размокаемостью грунтов в отдельных расчетах, например гидрогеологических и гидрологических, используется такой показатель, как размываемость, т.е. разрушение грунтов под действием текучих вод. По размываемости оценивают водоустойчивость берегов каналов и рек.

**Набухание** - способность грунта увеличиваться в объеме при увлажнении. Увеличение объема грунта происходит как за счет утолщения водных оболочек вокруг коллоидных частиц, так и за счет физико-химических процессов, влекущих за собой изменение строения грунта. Набухание, свойственное главным образом пылевато-глинистым грунтам, характеризует их водоустойчивость. Величина набухания зависит от степени дисперсности и минералогического состава грунта.

Показателями набухания являются: величина набухания, выражаемая в абсолютных величинах или процентах от первоначального объема грунта; влажность набухания, т.е. влажность, при которой происходит максимальное набухание; относительное набухание, выражаемое относительными деформациями набухания. По относительной деформации набухания пылевато-глинистые грунты делятся на не набухающие, слабо набухающие, средние набухающие и сильно набухающие (см. табл. 2.22).

**Усадка** - свойства глинистых грунтов уменьшаться в объеме при высыхании. При испарении воды с поверхности грунта или высыхании объем грунтов уменьшается, т.е. они дают усадку. Усадка грунта сопровождается появлением трещин и нарушением структуры грунта. Усадка и набухание схожие, но противоположные процессы в глинистых грунтах.



Усадка характеризуется величиной и пределом усадки. Величина усадки - отношение изменения объема к первоначальному объему грунта. Предел усадки - величина влажности, при уменьшении которой дальнейшего изменения (уменьшения) объема грунта не происходит.

**Размягчаемость** - уменьшение прочности скальных пород под влиянием воды. Размягчаемость, как важный показатель водоустойчивости скальных и полускальных пород, характеризуется коэффициентом размягчаемости, под которым понимается отношение пределов прочности грунта на одноосное сжатие в водонасыщенном и в воздушно-сухом состоянии. По степени размягчаемости (коэффициенту размягчаемости  $K_{so}$ ) скальные породы подразделяются на не размягчаемые и размягчаемые (см. табл. 2.5).

**Растворимость** - характеристика, отражающая способность скальных грунтов растворяться в воде и выражающаяся в количестве водорастворимых солей. По степени растворимости в воде скальные породы подразделяют на нерастворимые, труднорастворимые, среднерастворимые и легкорастворимые грунты (см. табл. 2.7).

### 6.1.2. Влагоемкость

**Влагоемкость** - способность грунтов вмещать в порах и удерживать на поверхности частиц то или иное количество воды. Влагоемкость, также как влажность, выражается в долях единицы или в процентах от массы абсолютно сухой навески. По отношению к видам воды различают следующие виды влагоемкости: *гигроскопическая влагоемкость; максимальная молекулярная влагоемкость; капиллярная влагоемкость; полная влагоемкость.*

**Гигроскопическая влагоемкость** - способность частиц грунта притягивать из воздуха парообразную влагу. Характерный признак гигроскопической воды - выделение тепла при ее поглощении.

**Максимальная молекулярная влагоемкость** - максимальное количество гигроскопической и пленочной воды, удерживаемое частицами этого грунта.

**Капиллярная влагоемкость** - максимальное количество воды, удерживаемое в капиллярных порах. Для глинистых грунтов, пылеватых и мелких песков капиллярная влагоемкость близка к полной влагоемкости.

**Полная влагоемкость** - максимальное количество воды, заключенной в грунте при полном насыщении его водой. При таком состоянии грунта водой заполняются не только капиллярные промежутки, но и все поры. Для не набухающих грунтов полная влагоемкость выражает влажность грунта при полном его водонасыщении, т.е.  $W_{sat}$ .

### 6.1.3. Капиллярность и водопроницаемость

**Капиллярность** — способностью грунтов поднимать воду по капиллярным порам снизу вверх вследствие воздействия капиллярных сил, которые возникают на границах раздела различных компонентов грунта. Капиллярность грунта характеризуется высотой и скоростью поднятия воды по капиллярным порам грунта.

**Водопроницаемость** — способность грунтов пропускать сквозь себя (фильтровать) воду. Вода в грунтах может передвигаться под влиянием ряда факторов, главным из которых являются силы тяжести и внешнее давление, т.е. напор в воде. Водопроницаемость грунта характеризуется коэффициентом фильтрации, который представляет собой скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице. Водопроницаемость грунта должна учитываться при использовании грунта как материал для возведения насыпей, при устройстве водоотводных и дренажных (осушительных) сооружений, при расчетах притока воды в строительные котлованы и др. Движение воды в дисперсных грунтах имеет ламинарный (параллельно струйный) характер и подчиняется закону Дарси.

#### 6.1.4. Водопоглощение и водонасыщение

**Водопоглощение** — способность горных пород впитывать воду при атмосферном давлении и выражается как отношение массы поглощенной воды к массе абсолютно сухой породы. Водопоглощение можно характеризовать и через объем, как отношение объема воды, поглощенной породой, к объему породы. Тогда это называется объемное водопоглощение.

**Водонасыщение** - характеризует максимальную способность горной породы впитывать воду. В отличие от водопоглощения, при водонасыщении вода входит не только в крупные, но и мелкие поры, заполняя весь объем пор. Влажность, соответствующая состоянию полного водонасыщения грунта, равна полной влагоемкости  $W_{sat}$ .

В таблице 6.1 сведены водно-физических свойств грунтов с указанием свойственности каждого показателя к разным горным породам (грунтам) и их применения в расчетах геотехники, гидрологии и гидрогеологии.

Таблица 6.1

Свойства	Показатель	Горные породы	Практическое применение
1	2	3	4
<b>Водоустойчивость</b>	Скорость и характер размокания	Пылевато-глинистые	Оценка устойчивости, прочности и деформируемости оснований, сооружений, откосов, подземных сооружений, земляного полотна дорог; использование грунта как материал для возведения плотин, дамб и насыпей.
	Величина и влажность набухания	То же	
	Величина и влажность усадки	Пылевато-глинистые и полускальные	
	Содержание водорастворимых солей	То же	
	Размягчаемость	Скальные и полускальные	
			Прогноз изменения прочности и устойчивости оснований сооружений.



Продолжение табл. 6.1

1	2	3	4
Влаго-ёмкость	Полная влагоёмкость	Все грунты	Оценка степени увлажнения грунтов
	Молекулярная влагоёмкость	Пылевато-глинистые	Оценка гидрофильности пород
	Водоотдача	Песчаные	Водопонижение
Капиллярность	Высота капиллярного поднятия	Пески, галечники, скальные и полускальные	Расчет притока воды в котлованы и подземные выработки
		Песчаные и пылевато-глинистые	Оценка возможного увлажнения грунтов основания вследствие капиллярного поднятия влаги; Оценка воздействия воды на подземные конструкции и помещения.
Водопроницаемость	Коэффициент фильтрации, водопоглощение, водонасыщение.	Все грунты	Расчеты притока воды в котлованы и подземные выработки; дренажей и водопонижения
		Пылевато-глинистые	Расчеты осадок сооружений во времени и фильтрационной консолидации

## 6.2. Теплофизические свойства грунтов

Теплофизические свойства характеризуют способность грунтов передавать и поглощать тепло при нагревании. К грунтам свойственны такие теплофизические свойства, как теплопроводность и теплоемкость.

**Теплопроводность** – способность грунта передавать тепло от одной поверхности к другой. Теплопроводность характеризуется коэффициентом теплопроводности  $\lambda$  [Вт/м·К], который выражает количество тепла, переносимого через площадь  $1\text{ м}^2$  при толщине слоя  $1\text{ м}$  за время  $1$  секунд и при разности температур на граничных поверхностях, равной  $1\text{ К}$ .

Теплопроводность скальных грунтов отличается от теплопроводности дисперсных грунтов [14]. Теплопроводность скальных пород зависит от их пористости и влажности. Чем больше объем пор и чем меньше влажность, тем меньше теплопроводность. С увеличением влажности грунта его теплопроводность повышается. Наибольшую теплопроводность грунт имеет при полном водонасыщении, т.е. когда все поры грунта заполнены водой [14].

В отличие от скальных пород, теплопроводность нескальных грунтов зависит от теплопроводности трех составляющих фаз (элементов) грунта в отдельности – твердых частиц, воды и газа. По данным М. П. Лысенко [12] коэффициент теплопроводности воздуха равен  $0,021$ , воды –  $0,588$ , твердых частиц в зависимости от минералогического состава –  $0,42 - 4,2$ .

**Теплоемкость** – свойство тел поглощать тепло при нагревании. Показателем теплоемкости является удельная теплоемкость  $C$ , выражающая количество тепла, необходимого для нагревания  $1\text{ кг}$  вещества тела на температуру  $1\text{ К}$ . Удельная теплоемкость определяется по формуле [12]

$$C = Q / q (t_1 - t_2); \text{ [Дж / кг} \cdot \text{К]} \quad (6.1)$$

где  $Q$  – количество тепла, Дж;  $q$  – масса вещества, кг;  
 $(t_1 - t_2)$  – разность температур, К.

Объемная теплоемкость  $C_V$  характеризует количество тепла, необходимое для нагревания  $1 \text{ м}^3$  вещества на  $1^\circ \text{С}$  [12]. Объемная теплоемкость  $C_V$  равна произведению удельной теплоемкости  $C$  на величину плотности сухого грунта (скелета)  $\rho_d$ , т.е.

$$C_V = C \cdot \rho_d; \quad (6.2)$$

Для воды значения  $C$  и  $C_V$  равны между собой и при  $20^\circ \text{С}$   $C = C_V = 420 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ . Для горных пород удельная теплоемкость составляет  $756 - 924 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ . Для воздуха удельная теплоемкость ничтожно мала и составляет  $1,285 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ , [12].

## 7. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

**Механические свойства** определяют поведение горных пород под влиянием внешних усилий — нагрузок. Они характеризуют прочность и деформируемость горных пород. Механические свойства горных пород используются в расчетах оснований сооружений и механики горных пород, например, при расчете осадок сооружений, прогноза их развития во времени, устойчивости откосов и естественных склонов, при определении давления горных пород на ограждающие конструкции (подпорные стены) и крепи подземных выработок и т.д.

**Технологические свойства** характеризуют поведение горных пород при воздействии на них инструментом и рабочими органами горных машин и выражаются как горнотехнологические характеристики горных пород. Горнотехнологические свойства характеризуют горные породы как объекты разработки применительно к инженерным расчетам технологических процессов [20].

### 7.1. Характеристики деформируемости грунтов

#### 7.1.1. Нескальные (дисперсные) грунты

Одним из отличительных свойств нескальных (дисперсных) грунтов является их сжимаемость, т.е. способность уменьшить свой объем под действием внешних воздействий. Это свойство положено в основу проектирования зданий и сооружений на грунтовых основаниях.

Физическими причинами, обуславливающими сжимаемость грунтов, являются: упругость кристаллической решетки частиц, уплотнение грунтов, изменение физического состояния. Основным процессом, обуславливающим сжимаемость грунтов в основаниях зданий и сооружений, является уплотнение грунтов под действием внешней нагрузки.



Необходимо отметить, что под действием постоянной нагрузки процесс уплотнения связных грунтов, имеющих лишь водно-коллоидные связи, будет происходить иначе, чем сжимаемость грунтов, обладающих одновременно и водно-коллоидными, и жесткими кристаллизационными связями. В грунтах, обладающих только водно-коллоидными связями, сжимаемость будет происходить с самых начальных ступеней нагрузки без разрушения структурных связей за счет сжатия диффузных оболочек коллоидных частиц.

В условиях природного сложения грунты уплотняются давлением вышележащих слоев. В результате этого частицы грунта обжимаются и между ними образуются водно-коллоидные связи. В период длительного существования грунтов при определенных условиях в них дополнительно могут возникнуть хрупкие кристаллизационные связи. Суммарно эти связи придают грунту некоторую прочность, которую называют структурной прочностью грунта  $p_{стр}$ . Таким образом, в грунтах, имеющих жесткие цементационные связи, пока действием внешней нагрузки структурные связи не будут преодолены ( $p \leq p_{стр}$ ) грунт только упруго сжимается. В таких случаях деформация грунта будет упругой.

Если же нагрузка будет такова, что структурные связи будут преодолены ( $p > p_{стр}$ ), тогда происходит уплотнение грунта, сопровождающееся уменьшением объема пор. В таких случаях деформация грунта будет остаточной (пластичной). Опыты показывают, что после уплотнения грунта при поэтапном снятии нагрузки (разгрузке) незначительная часть деформации грунта назад возвращается. Это указывает на то, что общая деформация грунта состоит из остаточной (основной) и упругой (значительно меньшей) составляющей.

Несвязные грунты, в отличие от связных, под действием постоянной нагрузки уплотняются мало. Это объясняется различной природой структурных связей этих грунтов. Песчаные грунты имеют жесткие контакты между твердыми минеральными частицами, непосредственное сжатие которых под действием внешней нагрузки незначительно. При действии

же динамических нагрузок трение в точках контактов жестких зерен нарушается, происходит скольжение одних зерен по другим, более мелкие зерна попадают в поры между крупными зернами, что вызывает переупаковку частиц в более плотное сложение. Следовательно, происходит уплотнение грунта, в результате чего уменьшается объем пор и повышается плотность грунта.

Показатели сжимаемости грунтов определяются как в лабораторных, так и в полевых условиях. В лабораторных условиях для испытания грунта на сжимаемость применяются приборы одноосного (вертикального) сжатия (одеметры) и трехосного сжатия (стабилометры).

В одометрах грунт помещается в кольцо с жесткими стенками, в которых отсутствует боковое расширение грунта. При таком испытании сжимаемость и уплотнение грунта происходит в условиях одномерной задачи, т.е. в условиях, когда деформации грунта могут развиваться только в одном вертикальном направлении, а боковые деформации практически равны нулю. Такая сжимаемость называется «компрессия». Следовательно, приборы и испытания называются компрессионными.

Одометр является рабочей частью компрессионного прибора. Условия сжимаемости грунта в компрессионном приборе (рис.7.1а) близки сжатию отдельного слоя грунта под действием сплошной равномерно распределенной нагрузки в натуре (рис.7.1б). Компрессионные испытания проводятся путем приложения нагрузки к образцу грунта возрастающими ступенями по 0,025...0,05 МПа. Каждая ступень нагрузки выдерживается до условной стабилизации осадки. За условную стабилизацию принимается величина осадки, равная 0,01 мм за сутки. Деформация образца замеряется индикаторами часового типа, отсчеты по которым снимаются последовательно с момента приложения каждой ступени нагрузки через определенные промежутки времени: 1, 2, 3, 5, 10, 20 и 30 минут. Итак, до последней ступеньки нагрузки.

Компрессионные испытания проводятся до давлений 0,30 - 0,35 МПа, иногда до 0,5 МПа, до которых зависимость деформации грунта от давления считается линейной, т.е. соблюдается принцип линейной деформируемости.

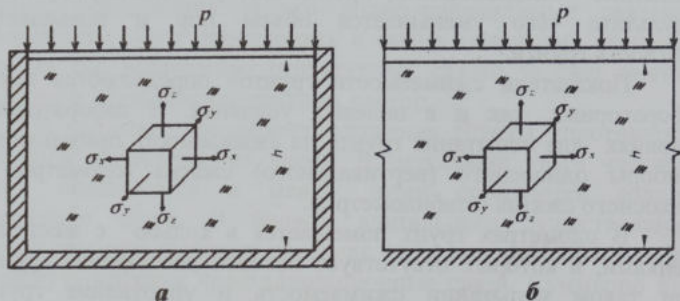


Рис. 7.1. Схема компрессионного сжатия грунта.  
 а – в жестком кольце (оedomетре); б – в грунтовом массиве

После стабилизации деформаций от последней ступени нагрузки теми же ступенями в обратном порядке производят разгрузку и замеряют деформации разуплотнения грунта. После снятия последней ступени нагрузки образец оставляют в приборе до полной стабилизации деформаций.

Результаты компрессионных испытаний представляются графически в виде кривой зависимости коэффициента пористости  $e$  от приложенного давления  $p$  (рис.7.2). Зависимость  $e = f(p)$  называется **компрессионная кривая**. Значение начального коэффициента пористости (когда  $p=0$ ) определяется по выражению  $e_0 = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$ . В компрессионных испытаниях, ввиду отсутствия бокового расширения грунта, интенсивность (скорость) возрастания деформации постепенно будет отставать от интенсивности возрастания давления.

Хотя график зависимости  $e = f(p)$  имеет криволинейное очертание, однако в пределах до небольшого давления на грунт (до 0,3–0,5 МПа) отрезок АВ компрессионной кривой можно



заменить прямой линией (рис.7.2б). Эта прямая линия описывается уравнением

$$e_1 = e_0 - \operatorname{tg} \alpha \cdot p_1; \quad (7.1)$$

По данным компрессионного испытания и с помощью компрессионной кривой определяются показатели сжимаемости грунтов, которые называются компрессионными характеристиками:

- $m_0$  - коэффициент сжимаемости;
- $m_v$  - коэффициент относительной сжимаемости;
- $E_0$  - модуль деформации.

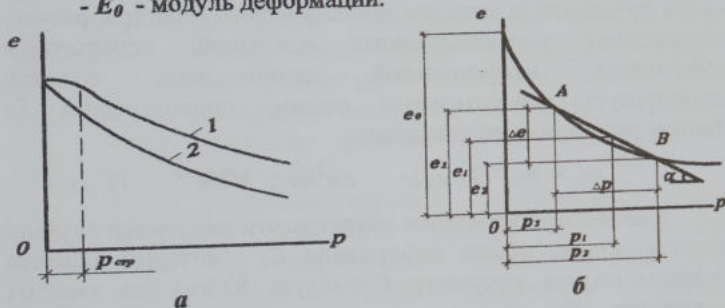


Рис.7.2. Компрессионная кривая - зависимость  $e = f(p)$ .

*a* - общий вид; *б* - замена отрезка кривой прямой линией.

1 - для грунтов, обладающих структурной прочностью;

2 - для слабых грунтов

Коэффициент сжимаемости грунта характеризуется тангенсом угла наклона отрезка компрессионной кривой к оси давлений и характеризует сжимаемость грунта в рассматриваемом диапазоне давлений (от  $p_1$  до  $p_2$ ) (см. рис.7.2б). Чем больше угол наклона  $\alpha$ , тем больше будет сжиматься грунт. Коэффициент сжимаемости равен

$$m_0 = \operatorname{tg} \alpha = (e_1 - e_2) / (p_2 - p_1); \quad \text{см}^2/\text{кгс}, \text{МПа}^{-1}, \text{кПа}^{-1}; \quad (7.2)$$

По коэффициенту сжимаемости грунты подразделяют согласно таблице 7.1.



Таблица 7.1

Практически несжимаемые	$m_0 < 0,001 \text{ см}^2/\text{кгс}$
Малосжимаемые	$0,001 \leq m_0 < 0,005 \text{ см}^2/\text{кгс}$
Средней сжимаемости	$0,005 \leq m_0 < 0,01 \text{ см}^2/\text{кгс}$
Повышенной сжимаемости	$0,01 \leq m_0 < 0,1 \text{ см}^2/\text{кгс}$
Сильносжимаемые	$m_0 > 0,1 \text{ см}^2/\text{кгс}$

В некоторых расчетах, например, при определении осадок фундаментов методом эквивалентного слоя, при расчете консолидации водонасыщенных оснований, используется коэффициент относительной сжимаемости, который характеризует относительную осадку, приходящуюся на единицу действующего давления:

$$m_v = m_0 / (1 + e_0); \quad \text{см}^2/\text{кгс}, \text{ МПа}^{-1} \quad (7.3)$$

Основным показателем сжимаемости дисперсного грунта является модуль общей деформации  $E_0$ , который является аналогом модуля упругости  $E$  (модуль Юнга) для твердых материалов. По результатам компрессионного испытания определяют модуль деформации грунта (компрессионный модуль деформации) по выражению

$$E_{0к} = \beta / m_v; \quad \text{кгс/см}^2, \text{ МПа} \quad (7.4)$$

где  $\beta$  — безразмерный коэффициент, зависящий от коэффициента относительного бокового расширения грунта (коэффициента Пуассона  $\nu$ );

Вместе с тем между модулем общей деформации  $E_0$  и модулем упругости  $E$  имеется известное различие. Если  $E$  учитывает только упругую (обратимую) деформацию материала, то  $E_0$  учитывает как упругую, так и остаточную (необратимую) деформацию, т.е. общую деформацию грунта. Кроме того, если величина  $E_0$  зависит от давления, т.е.  $E_0 = f(p)$ , то модуль упругости твердых тел  $E$  в расчетах принимается постоянным и независимым от нагрузки ( $E = \text{const}$ ).

В расчетах оснований зданий и сооружений по деформациям (расчет осадок фундаментов) используется модуль деформации грунта. Установлено, что компрессионный модуль деформации грунта  $E_{ок}$  несколько отличается от модуля деформации грунта в натуральных условиях. Это связано, во-первых, с тем, что при отборе образцов из грунтового массива для компрессионного испытания происходит уменьшение напряжения в скелете грунта (за счет снятия природного давления) и снижение давления в поровой воде (при отборе образцов ниже уровня подземных вод). Все это приведет к некоторому разуплотнению и, следовательно, к увеличению объема образца грунта. Во-вторых, при компрессионном испытании, где отсутствует боковое расширение грунта, от каждой ступеньки давления грунт становится более плотным, и последующие деформации становятся все меньше и меньше, а на какой-то ступеньки давления грунт дальше вовсе не сжимается (см. рис.7.2б).

Модуль деформации грунта  $E_0$ , как основной показатель деформируемости дисперсных грунтов, более достоверно определяется по результатам штамповых испытаний статической нагрузкой (ГОСТ 20276-99) (рис.7.3). В натуральных штамповых испытаниях, хотя на начальном этапе грунт сжимается и уплотняется также без бокового расширения (фаза уплотнения), однако дальнейшее увеличение давления приводит к постепенному развитию горизонтальных деформаций между частицами грунта, т.е. боковому расширению (фаза сдвигов). Следовательно, при натуральных штамповых испытаниях по мере постепенного увеличения давления, ввиду возможности бокового расширения грунта, интенсивность возрастания деформации постепенно будет опережать интенсивность возрастания давления.

Для компенсации такого несоответствия введены *коэффициенты бокового давления и бокового расширения грунта. Коэффициент бокового давления в состоянии покоя  $\zeta$*  выражает отношение горизонтального напряжения  $\sigma_x$  ( $\sigma_y$ ) к вертикальному напряжению  $\sigma_z$ , т.е.  $\zeta = \sigma_x / \sigma_z = \sigma_y / \sigma_z$ .

Методика штампового испытания заключается в следующем: на дне шурфа устанавливают жесткий штамп (фундамент) (рис.7.3 а), на который ступенями прикладывают внешнюю нагрузку  $p_i$ , одновременно измеряя величину соответствующей осадки грунта  $S_i$ . По результатам такого испытания строится график зависимости  $S_i = f(p_i)$  (рис.7.3 б).

Модуль деформации грунта, являющийся коэффициентом пропорциональности между нагрузкой и осадкой, по результатам штамповых испытаний определяется

$$E_0 = \omega d (1 - \nu) \Delta p / \Delta s; \quad (7.5)$$

где:  $\omega$  – коэффициент формы площади подошвы и жесткости штампа (для круглых штампов  $\omega = 0,8$ ; для квадратных штампов -  $\omega = 0,9$ );

$d$  – диаметр штампа;

$\nu$  – коэффициент относительного бокового расширения грунта (коэффициент Пуассона);

$\Delta p$  – приращение давления под подошвой штампа;

$\Delta s$  – приращение осадки штампа при  $\Delta p$ .

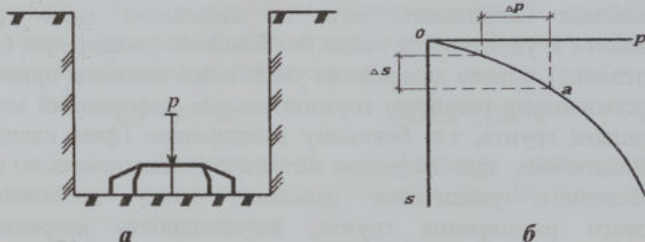


Рис.7.3. Схема штампового испытания в шурфе (а) и зависимость  $S_i = f(p_i)$  (б)

Выражение (7.5) получено на основе решений теории упругости из формулы Буссинеска - Шлейхера для условий деформаций упругого полупространства.

Значения коэффициента Пуассона  $\nu$  для различных грунтов приведены в СНиП 2.02.01-83\* (приложение 2). Между коэффициентами  $\beta$  (формула 7.4),  $\nu$  (формула 7.5) и коэффициентом бокового давления грунта  $\mu$  существуют следующие зависимости [6]

$$\beta = 1 - [2 \nu^2 / (1 - \nu)]; \quad (7.6)$$

$$\mu = \nu / (1 - \nu); \quad (7.7)$$

$$\nu = \mu / (1 + \mu); \quad (7.8)$$

Значения коэффициентов  $\nu$ ,  $\beta$  и  $\mu$  приведены в таблице 7.2

Таблица 7.2

Грунты	$\nu$	$\beta$	$\mu$
Крупнообломочные	0,27	0,8	0,37
Пески и супеси	0,30	0,74	0,43
Суглинки	0,35	0,62	0,54
Глины	0,42	0,39	0,72

### 7.1.2. Скальные грунты

Деформируемость скальных грунтов, как слитных сплошных твердых тел, характеризуются модулем упругости (модуль Юнга)  $E$  и коэффициентом Пуассона  $\nu$ .

Модуль упругости  $E$  является коэффициентом пропорциональности между напряжением и упругой относительной деформацией тела. Эта зависимость известна как закон Гука, который выражается по формуле

$$\sigma = E \cdot \Delta l / l; \quad (7.9)$$

где  $\sigma$  – нормальное напряжение;

$\Delta l$  – деформация образца, вызванная напряжением  $\sigma$ ;

$l$  – первоначальная длина (высота) образца.

С увеличением трещиноватости и общей пористости скальной породы модуль упругости снижается. Для скальных и



полускальных пород модуль упругости  $E$  колеблется в пределах  $(6-125) \cdot 10^3$  МПа [12]. По данным [20], модуль упругости скальных пород изменяется от  $10^3$  до  $3 \cdot 10^5$  МПа.

Коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона)  $\nu$  выражает отношение поперечной  $\varepsilon_d$  и продольной  $\varepsilon_l$  относительными деформациями тела, т.е.  $\nu = \varepsilon_d / \varepsilon_l$ . Для большинства горных пород  $\nu$  колеблется в интервале от 0,15 до 0,35 [12, 20]. Упругие свойства скальных пород (модуль упругости и коэффициента Пуассона) зависят как от минералогического состава горной породы, так и скорости приложения нагрузок.

В связи с тем, что в скальных породах остаточная деформация практически недопустима (может произойти хрупкое разрушение породы), поэтому в скальных породах применим модуль упругости  $E$ .

Модули упругой и общей деформации, определяемые при испытании горных пород на сжатие, являются статическими. Эти же модули могут быть и динамическими, основанными на измерении скорости распространения упругих волн, возбуждаемых при сейсмических или других динамических воздействиях [13]. Динамические модули деформации горных пород (грунтов) больше статических модулей на величину от 5 до 50% [12].

## 7.2. Характеристики прочности грунтов

### 7.2.1. Нескальные (дисперсные) грунты

При действии внешней нагрузки в различных точках массива грунта возникнут нормальные и сдвигающие напряжения. Если касательные напряжения составляют определенную долю от нормальных напряжений и когда будет преодолено сопротивление грунта сдвигу, произойдет скольжение одной части грунта относительно другой и, тем самым, нарушение сплошности грунтового массива.

Показатели сопротивления сдвигу – это прочностные характеристики грунта. В песчаных грунтах внутреннее сопротивление сдвигу будет обеспечиваться, в основном, трением, возникающим между твердыми частицами. В связных же грунтах силами внутреннего сопротивления являются как прочность структурных связей, так и силы трения между частицами.

Силы трения, возникающие между частицами грунта, характеризуются углом внутреннего трения  $\phi$ , а прочность структурных связей между частицами – удельным сцеплением  $c$ . Параметры  $\phi$  и  $c$  – основные прочностные характеристики грунтов. Несвязные (песчаные) грунты обладают одним прочностным параметром –  $\phi$ , а связные (пылевато-глинистые) грунты обладают двумя прочностными параметрами –  $\phi$  и  $c$ . В песчаных грунтах силы сцепления практически равны нулю.

Правильный выбор показателей сопротивления грунтов сдвигу имеет большое практическое значение для практики, т.к. это обуславливает точность инженерных расчетов по определению предельной нагрузки на грунт, устойчивости грунтовых массивов и давления грунтов на ограждения.

Параметры сопротивления грунтов сдвигу ( $\phi$  и  $c$ ) определяются опытным путем, как в лабораторных, так и в полевых условиях [2,3]. В лабораторных условиях ( $\phi$  и  $c$ ) определяются методами *прямого плоскостного среза; простого одноосного сжатия; трехосного сжатия*. В полевых условиях ( $\phi$  и  $c$ ) определяются методами *обрушения или сдвига монолита грунта в условиях естественного залегания; лопастного испытания на сдвиг при кручении; вдавливание шарового штампа; статического зондирования*.

В лабораторных условиях наиболее широко применяется метод прямого среза путем испытания на одноплоскостных срезных приборах типа ПСГ и ВСВ. Образец грунта помещается в срезыватель, где одна половина образца (нижняя) остается неподвижной, а верхняя может перемещаться под действием прикладываемой ступенями горизонтальной нагрузки (рис.7.4). Сначала к образцу прикладывается сжимающая нагрузка  $N$ ,

моделирующая как бы природное давление на соответствующей глубине, затем ступенями горизонтальное усилие  $Q$  до полного среза грунта.

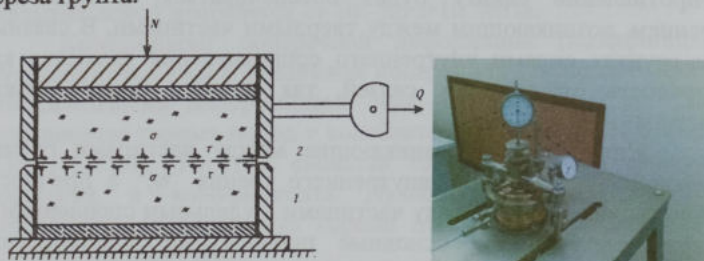


Рис.7.4. Схема срезывателя прибора ПСТ

Испытания грунтов на сдвиг проводят при нескольких вертикальных давлениях (не менее трех) и по результатам опытов строят график зависимости предельных касательных (сдвигающих) напряжений  $\tau_{np}$  от нормальных  $\sigma_i$ , т.е.  $\tau_{np} = f(\sigma_i)$  (рис.7.5). Для сыпучих грунтов график предельных сопротивлений сдвигу представляет собой строго прямую, исходящую от начала координат и наклоненную под углом  $\phi$  к оси давления (рис. 7.5а).

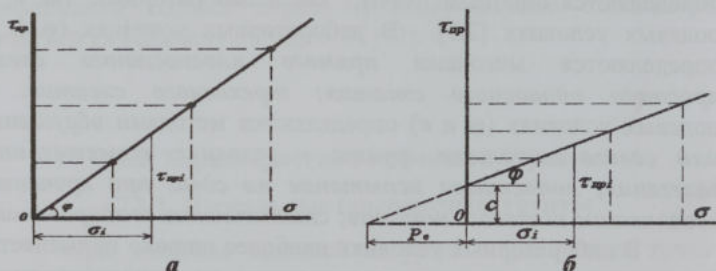


Рис.7.5. Графики  $\tau_{np} = f(\sigma_i)$ : сыпучие (а) и связные грунты (б)

Согласно диаграмме, для сыпучих (несвязных) грунтов любое предельное сдвигающее напряжение  $\tau_{np}$  равно

$$\tau_{np} = \sigma_i \cdot \operatorname{tg} \phi ; \quad (7.10)$$

Для пылевато-глинистых (связных) грунтов (рис. 7.5 б)

$$\tau_{np} = c + \sigma_i \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (7.11)$$

где:  $\varphi$  – угол внутреннего трения, град;  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент внутреннего трения,  $c$  – удельное сцепление, кПа.

Зависимости (7.10) и (7.11) являются выражениями закона Кулона для сыпучих и связных грунтов. Закон Кулона формулируется так [18]: *предельное сопротивление сыпучих грунтов сдвигу есть сопротивление трению, прямо пропорциональное нормальному давлению; предельное сопротивление связных грунтов сдвигу при завершённой консолидации есть функция первой степени от нормального давления.*

Если продлить прямую  $\tau_{np} = c + \sigma_i \cdot \operatorname{tg} \varphi$  до пересечения с осью  $\sigma$  (см. рис. 7.5 б), то она отсечет на оси  $\sigma$  отрезок  $p_c$ , заменяющее действие всех сил сцепления. Это напряжение называется «давление связности» грунта. Из соответствующего треугольника имеем  $c = p_c / \operatorname{tg} \varphi$ . Следовательно,

$$p_c = c \cdot \operatorname{ctg} \varphi = c / \operatorname{tg} \varphi; \quad (7.12)$$

Испытания грунтов на одноосное сжатие (прессовое испытание) (рис. 7.6) проводятся только для скальных и связных грунтов (твёрдых, полутвёрдых и тугопластичных), из которых возможно вырезать образцы кубической или цилиндрической формы.

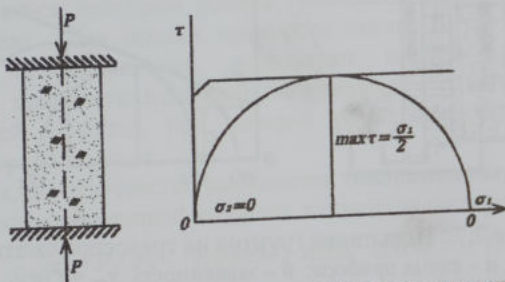


Рис. 7.6. Схема испытания грунта на одноосное сжатие



Известно, что максимальное напряжение сдвига развивается по площадкам, наклоненным под углом  $45^0$  к направлению главных напряжений, и равно  $\tau = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ . Так как при одноосном сжатии  $\sigma_3 = \sigma_2 = 0$ , следовательно,  $\tau = \sigma_1 / 2$ . Здесь  $\sigma_1 = P / A$ ; (где  $P$  – нагрузка,  $A$  – площадь сечения образца). Полагая, что  $\tau_{\max} = c$ , получим

$$c \approx \sigma_1 / 2; \quad (7.13)$$

Опыты на трехосное сжатие позволяют испытывать образцы любых грунтов при обжатии их наперед заданным боковым давлением. Такие опыты позволяют получить более достоверные результаты. Испытания проводятся в стабилометрах (рис.7.7а), где цилиндрический образец (с соотношением диаметра к высоте 1:2–1:5), заключенный в резиновую оболочку, кроме вертикального давления ( $\sigma_1$ ) подвергается боковому давлению жидкости ( $\sigma_2$ ). При испытаниях боковое давление выдерживают постоянное, а вертикальное – постепенно увеличивают до начала разрушения образца. Опыты повторяют при нескольких значениях бокового давления  $\sigma_2$ . Прочностные показатели грунтов  $c$  и  $\phi$  определяют графически, строя график  $\tau_{np} = f(\sigma \psi)$  в виде огибающих кругов Мора (рис.7.7 б).

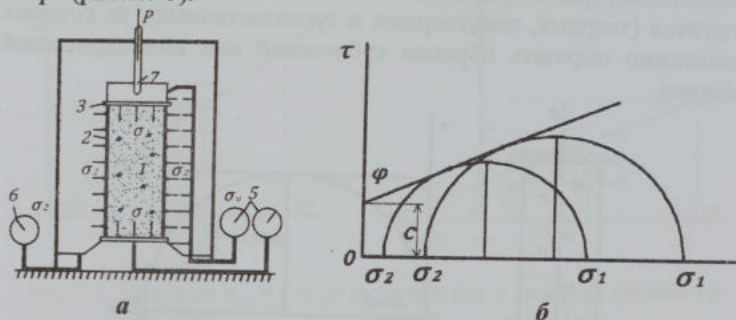


Рис.7.7. Испытание грунтов на трехосное сжатие:

а – схема прибора; б – зависимость  $\tau_{np} = f(\sigma \psi)$ .

1–грунт; 2–резиновая оболочка; 3–поддоны; 4–камера;  
5,6 –манометры для измерения давления; 7 – поршень.

Как показывают опыты, сыпучий грунт при сдвиге достигает определенного коэффициента пористости независимо от того, имел ли он вначале плотное или рыхлое состояние (рис. 7.8). Отсюда следует, что при сдвиге плотные пески несколько разрыхляются, а рыхлые пески, наоборот, становятся более плотными. Поэтому введено понятие «*критический коэффициент пористости песчаного грунта при сдвиге*», который соответствует, возможно, состоянию средней плотности песка.

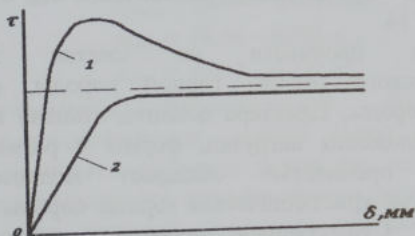


Рис. 7.8. Зависимость деформации сдвига  $\delta$  от сдвигающего напряжения  $\tau$  для плотного (1) и для рыхлого песка (2)

### 7.2.2. Скальные грунты

Прочностью называется способность горной породы сопротивляться действию усилий, вызывающих ту или иную деформацию. Для оценки прочности скальных грунтов, как слитных, сплошных тел, используют предел прочности. Пределом прочности называют напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, при которой происходит разрушение образца горной породы.

Предел прочности выражается напряжением, равным отношению разрушающей нагрузки к площади сечения, т.е.

$$\sigma = P / F; \quad [\text{кгс/см}^2, \text{кПа}, \text{МПа}] \quad (7.14)$$

где:  $P$  – разрушающая нагрузка;  $F$  – площадь сечения образца.

В зависимости от характера прикладываемой нагрузки различают пределы прочности на *сжатие*, *растяжение* (*разрыв*), *сдвиг* (*скалывание*), *изгиб* [12]. При этом базовым является предел прочности на сжатие  $\sigma_{см}$ .

**Предел прочности на сжатие.** Предел прочности на сжатие  $\sigma_{см}$  определяют путем испытания образцов кубической ( $5 \times 5 \times 5$ ;  $10 \times 10 \times 10$  см) или цилиндрической формы на прессе путем постепенного увеличения нагрузки до их хрупкого разрушения. Высота цилиндрических образцов не должна превышать 1,5 - 2,0 их диаметра. Значение  $\sigma_{см}$  определяют по выражению 7.14.

Предел прочности на сжатие зависит от минералогического состава горной породы, структуры и пористости породы, характера цемента, степени выветрелости, скорости приложения нагрузки, формы и размеров образца. Наибольшей прочностью обладают мелкозернистые и среднезернистые кристаллические горные породы с небольшой пористостью. Существенное влияние оказывает степень выветрелости пород. Так, если для невыветрелого гранита предел прочности на сжатие составляет 100 МПа и более, то для выветрелого — 4 - 6 МПа и менее [12]. Из-за петрографической неоднородности и трещиноватости породы, а также неточности изготовления образцов, при параллельных испытаниях колебания значений предела прочности могут достигать  $\pm 10 - 20\%$  от средней величины  $\sigma_{см}$ . В образцах большого размера более вероятно присутствие микротрещин, которые снижают прочность породы.

**Предел прочности на растяжение (разрыв).** Предел прочности на растяжение  $\sigma_{раст}$  определяют на образцах с надрезами или образцах, имеющих форму вытянутой восьмерки. Разрыв происходит по сечению, имеющему минимальные размеры. Неоднородность и наличие трещин в породе существенно влияет на результаты испытаний. Предел прочности при растяжении значительно ниже предела прочности при сжатии, т.е.  $\sigma_{раст} \ll \sigma_{см}$ .

Пределы прочности горных пород на сжатие  $\sigma_{сж}$ , растяжение  $\sigma_{раст}$  и сдвиг  $\sigma_{сдв}$  используют для оценки прочности горных пород и устойчивости горного массива при проходке горных выработок. По экспериментальным данным  $\sigma_{раст} = (0,02 - 0,12) \sigma_{сж}$ . Если не известны данные испытаний на растяжение, для практических расчетов принимают [20]:

$$\sigma_{раст} = 0,1 \sigma_{сж}; \quad (7.15)$$

По данным [14] между пределами прочности на сжатие, растяжение, сдвиг и изгиб существуют соотношения:

$$\sigma_{раст} = (0,03 - 0,05) \sigma_{сж};$$

$$\sigma_{сдв} = (0,06 - 0,08) \sigma_{сж};$$

$$\sigma_{изг} = (0,07 - 0,15) \sigma_{сж};$$

**Размягчаемость.** Размягчаемость, как один из показателей водоустойчивости горных пород, характеризует уменьшение прочности скальных пород под влиянием воды. Размягчаемость выражается коэффициентом размягчаемости в воде  $K_{so}$ , под которым понимают отношение пределов прочности грунта на одноосное сжатие в водонасыщенном и в воздушно-сухом состоянии. Разновидности скальных грунтов по степени размягчаемости в воде приведены в таблице 2.5.

Наиболее водоустойчивыми являются изверженные горные породы, которые в воде практически не размягчаются. Для этих пород коэффициент размягчаемости практически равен единице. Для песчаников и известняков коэффициент размягчаемости несколько меньше единицы. Породы, содержащие глинистое вещество (мергели, сланцы и др.) в воде сильно размягчаются. При коэффициенте размягчаемости  $K_{so} \geq 0,75$  породы считаются неразмягчаемыми (см. табл. 2.5).

**Прочность на истирание.** Прочность на истирание определяют в том случае, если скальные породы будут подвергаться усилиям, истирающим поверхность породы. Истираемость характеризуется потерей прочности образца породы после действия усилия, истирающего поверхность. Прочность на истирание зависит от таких горнотехнологических параметров скальных пород, как твердость и абразивность.



### 7.3. Горнотехнологические свойства скальных грунтов

Горнотехнологические свойства характеризуют горные породы как объекты разработки применительно к инженерным расчетам технологических процессов [20]. Применительно к горнопроходческим процессам, а также при выборе горнопроходческих машин и оборудования имеют применение следующие горнотехнологические свойства: пределы прочности массива горных пород при сжатии  $R_{сж}$  и растяжении  $R_{раст}$ , коэффициент крепости по Протоdjаконову  $f$ , угол внутреннего трения  $\phi$ . Кроме того, на горнопроходческие процессы влияют такие горнотехнологические характеристики, как абразивность, твердость, буримость, взрываемость, которые определяют поведение горной породы при воздействии на нее рабочим органом горных машин [20].

Пределы прочности массива горных пород на сжатие  $R_{сж}$  и растяжение  $R_{раст}$ . Для получения прочностных характеристик массива ( $R_{сж}$ ,  $R_{раст}$ ) через пределы прочности пород в образце  $\sigma_{сж}$  и  $\sigma_{раст}$  в расчеты вводят коэффициенты структурного ослабления массива  $K_c$ , показывающий отношение предела прочности пород массива к пределу прочности пород в образце, и коэффициент длительной прочности  $\xi$ , показывающий уменьшение прочности породы в результате длительного воздействия нагрузки.

При проектировании горных выработок коэффициент  $K_c$  определяется по данным количественного анализа нарушенности массива трещинами в местах расположения выработок на основании данных инженерно-геологических изысканий по среднему расстоянию между поверхностями ослабления пород по рекомендациям СНиП 11-94-80.

Коэффициент длительной прочности  $\xi$  представляет собой отношение предела прочности образца при длительном воздействии нагрузки  $\sigma_{дл}$  к пределу прочности породы при сжатии  $\sigma_{сж}$ , т.е.  $\xi = \sigma_{дл} / \sigma_{сж}$ . Для хрупких пород (граниты, кварциты, песчаники с кварцевым цементом и т.п.) рекомендуется принимать  $\xi = 1,0 - 0,7$ , а для пород,

испытывающих пластические деформации перед разрушением (песчанистые и углистые сланцы, известняки средней крепости, мергели и др.) -  $\xi = 0,5 - 0,7$ .

Пределы длительной прочности массива пород на сжатие и растяжение определяют по выражениям:

$$R_{сж} = \sigma_{сж} K_c \xi; \quad (7.16)$$

$$R_{раст} = \sigma_{раст} K_c \xi; \quad (7.17)$$

**Коэффициент крепости пород по Протодяконову  $f$ .**  
Под крепостью понимают суммарное сопротивление горных пород действию внешних сил, что проявляется в той или иной трудности их проходки или разработки [12, 20]. Для оценки крепости горных пород применяют коэффициенту крепости по Протодяконову  $f$ , который является прямой функцией предела прочности пород на сжатие  $\sigma_{сж}$ . Коэффициент крепости пород по Протодяконову  $f$  принимают:

$$f = \sigma_{сж} / 10^7, \text{ (Па) (Н/м}^2\text{)}$$

$$f = \sigma_{сж} / 10^2, \text{ кгс/см}^2 \quad (7.18)$$

$$f = \sigma_{сж} / 10, \text{ (МПа)}$$

где:  $\sigma_{сж}$  – предел прочности породы на сжатие,  
 $10^7, 10^2, 10$  – пределы прочности пород эталонного образца, соответственно в Па, кгс/см<sup>2</sup> и МПа.

В скальных породах часто проходят горные выработки для добычи полезных ископаемых или строительства различных подземных сооружений. При этом выбор способа проходки выработок и вида горнопроходческих механизмов во многом зависит от крепости (коэффициента крепости) горных пород.

В работе [12] приведена классификация горных пород по М.М. Протодяконову, где категория крепости горных пород принимается по коэффициенту крепости. С некоторым сокращением эта классификация представлена в таблице 7.3.

Таблица 7.3

Категория крепости	Степень крепости	Порода	Коэффициент крепости $f$
I	В высшей степени крепкие породы	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты. Исключительные по крепости другие породы.	20
II	Очень крепкие породы	Кварцевые порфиры, очень крепкие граниты, кремнистые сланцы, менее крепкие, чем указанные выше, кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки.	15
III	Крепкие породы	Граниты и гранитоидные породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Кварцевые рудные жилы. Очень крепкие железные руды.	10
IIIa	То же	Крепкие известняки. Некрепкие граниты. Крепкие песчаники. Крепкий мрамор, доломиты, колчедан.	8
IV	Довольно крепкие породы	Обыкновенные песчаники. Железные руды	6
IVa	То же	Песчанистые сланцы. Сланцевые песчаники	5
V	Средней крепости породы.	Крепкие глинистые сланцы. Некрепкие песчаники известняки. Мягкие конгломераты.	4
Va	То же	Разнообразные сланцы (некрепкие). Плотные мергели	3
VI	Довольно мягкие породы	Мягкие сланцы, очень мягкие известняки, гипс, каменная соль, мерзлый грунт, антрацит, мергели, разрушенные песчаники, галька и каменистый грунт	2

**Коэффициент трения и угол внутреннего трения.** В отличие от внешнего трения, под которым понимают сопротивление взаимному перемещению контактирующих тел, внутреннее трение выражает сопротивление при относительном перемещении отдельных частей тела при деформации. Под коэффициентом внутреннего трения  $f_m$  понимают отношение силы трения  $F_m$  к величине нормальной нагрузки  $P_n$  [20], т.е.  $f_m = F_m / P_n = \operatorname{tg} \varphi$ ;

Угол  $\varphi = \arctg f_m$  называют углом внутреннего трения. Угол внутреннего трения следует отличать от кажущегося угла внутреннего трения  $\varphi_k$  (его еще называют углом внутреннего сопротивления), который находится расчетным путем как  $\varphi_k = \arctg f$ , где  $f$  - коэффициент крепости породы по Протодяконову. В отличие от  $\varphi_k$ , угол внутреннего трения  $f_m$  находят экспериментальным путем при стабилметрических испытаниях (см. рис. 7.7) образцов или методом косого среза.

При расчете давления на горные выработки необходимо знать минимальный коэффициент внутреннего трения, при котором величина горного давления максимальная.

С достаточной для практических расчетов точностью коэффициент внутреннего трения можно определить по пределам прочности породы сжатию  $\sigma_{сж}$  и растяжению  $\sigma_{раст}$  как

$$\operatorname{tg} \varphi = f_m = (\sigma_{сж} - \sigma_{раст}) / (\sigma_{сж} + \sigma_{раст}); \quad (7.19)$$

В работе [20] рекомендуется

$$\operatorname{tg} \varphi = (f - 1) / (f + 1);$$

где  $f$  - коэффициент крепости по М.М. Протодяконову (табл. 7.3).



**Абразивность.** Абразивность – способность горной породы изнашивать контактирующие с ней поверхности горных машин в процессе их работы. Абразивность породы в раздробленном состоянии больше, чем в массиве. Абразивность пород в массиве оценивается средней потерей массы цилиндрического стержня из углеродистой стали по истиранию его о породу при вращении со скоростью 400 об/мин под осевой нагрузкой 150Н в течение 10 мин.

Трущиеся о породу поверхности рабочих органов горных машин изнашиваются быстрее, чем поверхности, которые подвергаются удару. Абразивность имеет значение при выборе типа погрузочной и дробимой машины. Обычно чем выше коэффициент крепости породы, тем больше показатель ее абразивности.

**Твердость.** Твердость скальных пород определяется по нагрузке, соответствующей разрушению породы под вдавливаемым в нее цилиндрическим штампом с плоским основанием [12]. Из определения следует, что твердость представляет собой предел прочности породы на вдавливание  $R_{\text{вдавл}}$ . Твердость скальных пород определяют путем сравнения твердости испытуемого образца с твердостью материала однородного строения (эталонный материал). Для оценки твердости горных пород пользуются шкалой твердости Мооса.

**Взрываемость.** Взрываемость – сопротивляемость породы разрушению действием взрыва. Взрываемость влияет на выбор метода ведения взрывной отбойки горных пород от массива. Взрываемость определяется удельным расходом эталонного ВВ ( $\text{кг/м}^3$ ). В качестве эталонного ВВ принят аммонит № 6ЖВ.

**Буримость** горной породы – способность породы сопротивляться проникновению в нее бурового инструмента или интенсивность образования в породе шпура (скважины) под действием усилий, возникающих при бурении. Буримость породы характеризуют скоростью бурения ( $\text{мм/мин}$ ), реже – продолжительностью бурения 1 м шпура ( $\text{мин/м}$ ).

## 8. ПРОСАДОЧНОСТЬ ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ

### 8.1. Предварительная оценка просадочности

Среди пылевато-глинистых грунтов особое место занимают лёссовые грунты, отличающиеся своим составом и обладающие специфическими неблагоприятными свойствами. Они относятся к классу структурно-неустойчивых грунтов. Напряженно-деформированное состояние лёссовых грунтов зависит не только от действующего давления, но и изменения физического состояния в результате увлажнения - замачивания.

Основной особенностью лёссовых грунтов является их просадочность, т.е. способность в напряженном состоянии от действия собственного веса или внешней нагрузки при увлажнении (замачивании) давать дополнительные деформации, называемые просадками. Просадка – большая по величине и неравномерная по характеру быстропротекающая во времени деформация, вызванная замачиванием лёссового грунта и сопровождающаяся резким изменением его структуры и уменьшением пористости.

Лёссовые просадочные грунты достаточно прочны в сухом состоянии. Однако при увлажнении они резко теряют свои прочностные свойства: сцепление снижается до 10 раз, угол внутреннего трения – 1,5-2,0 раза. Лёссовые грунты в условиях естественного сложения обладают низкой природной влажностью (6 -12%), высокой пористостью (45 – 55 %), низкой плотностью в сухом состоянии ( $\rho_d = 1,25-1,50 \text{ т/м}^3$ ).

При предварительной оценке к просадочным грунтам относятся лёссовые грунты со степенью влажности  $S_r \leq 0,8$ , для которых величина показателя просадочности  $I_{ss}$  меньше табличных значений (табл.8.1)

Таблица 8.1

Число пластичности $I_p$	$1 \leq I_p < 10$	$10 \leq I_p < 14$	$14 \leq I_p < 22$
Показатель просадочности $I_{ss}$	0,1	0,17	0,24

Показатель просадочности  $I_{ss}$  определяется по формуле

$$I_{ss} = (e_L - e) / (1 + e); \quad (8.1)$$

где:  $e$  – коэффициент пористости грунта природного сложения;  
 $e_L$  – то же, при влажности на границе текучести  $w_L$ .

$$e_L = w_L \rho_s / \rho_w; \quad (8.2)$$

где  $\rho_s$  и  $\rho_w$  – соответственно плотность твердых частиц и воды.

Показатель просадочности  $I_{ss}$ , который характеризует неуплотнённое состояние грунта, является лишь номенклатурным признаком и не позволяет окончательно оценить просадочность грунта и количественную величину возможной просадки.

## 8.2. Характеристики просадочности лессовых грунтов

Основными характеристиками просадочности лессовых грунтов являются: относительная просадочность  $\varepsilon_{sl}$ , начальное просадочное давление  $P_{sl}$  и начальная просадочная влажность  $w_{sl}$ .

### 8.2.1. Относительная просадочность

Качественно просадка характеризуется относительной просадочностью  $\varepsilon_{sl}$ , которая представляет собой отношение величины просадки под заданным давлением к первоначальной высоте образца грунта (рис. 8.1).

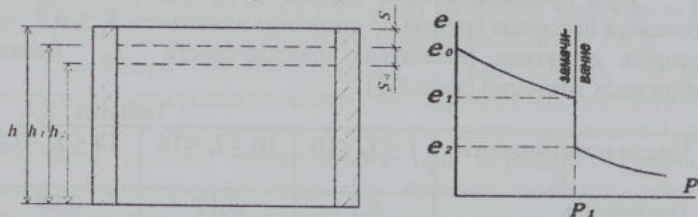


Рис. 8.1. Осадка ( $S$ ) и просадка ( $S_{sl}$ ) лессового грунта в условиях невозможности бокового расширения

Относительная просадочность определяется как

$$\varepsilon_{sl} = (h_1 - h_2) / h; \quad \text{или} \quad \varepsilon_{sl} = (e_1 - e_2) / (1 + e_0); \quad (8.3)$$

где:  $h, e_0$  - соответственно высота и коэффициент пористости грунта природной влажности, обжатого природным давлением без возможности бокового расширения;

$h_1, e_1$  - то же, обжатого давлением  $p_i$ ;

$h_2, e_2$  - то же, после его полного водонасыщения при  $p_i$ .

Относительная просадочность  $\varepsilon_{sl}$  выражает величину просадки на единицу высоты слоя грунта. Лессовый грунт считается просадочным при  $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$ , т.е. когда величина просадки равна или больше 1% высоты испытуемого грунта.

Относительная просадочность  $\varepsilon_{sl}$  лессовых грунтов определяется в компрессионных приборах на образцах ненарушенной структуры путем испытания методами одной кривой или двух кривых (рис.8.2). Метод одной кривой основан на испытании одного образца грунта при природной влажности и замачивании его при заданном давлении  $p_i$ . Этот метод позволяет определить величину относительной просадочности только при одном заданном давлении (рис.8.2 а).

Метод двух кривых основан на испытании двух образцов, вырезанных из одного монолита грунта (образцы-близнецы). Один образец испытывается до конца опыта при природной влажности ( $w_0$ ), другой - после полного водонасыщения ( $w_{sat}$ ) (рис.8.2 б). Этот метод позволяет определить относительную просадочность грунта при нескольких давлениях.

Относительная просадочность лессового грунта зависит от давления на грунт, влажности, исходной плотности, числа пластичности, т.е.  $\varepsilon_{sl} = f(p, w, \rho_d, I_p)$ . Относительная просадочность лессовых грунтов Республики Таджикистан от действия собственного веса достигает 0,085 - 0,012. Это означает, что просадка от собственного веса грунта может составить до 8,5-12 % мощности просадочного слоя.

Относительная просадочность  $\varepsilon_{sl}$  используется для следующих целей:

- определения высоты (мощности) просадочного слоя;



- определения типа грунтовых условий по просадочности.
- расчета величины ожидаемой просадки.

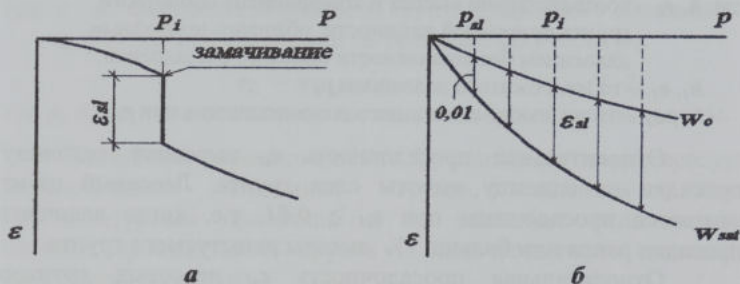


Рис. 8.2. Определение относительной просадочности при методе одной (а) и двух (б) кривых

Просадочным слоем  $H_{sl}$  считается толща лессового грунта, в пределах которой относительная просадочность при природном давлении составляет  $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$ .

Грунтовые условия площадок, сложенных лессовыми грунтами, в зависимости от возможности проявления просадки грунтов от собственного веса подразделяются на два типа [16]:

**I-тип** – грунтовые условия, в которых просадка грунтов возможна в деформируемой зоне в основном от внешней нагрузки, а просадка грунтов от собственного веса отсутствует или не превышает 5 см;

**II-тип** – грунтовые условия, в которых, помимо просадки грунтов от внешней нагрузки в деформируемой зоне возможна их просадка и от собственного веса величиной более 5 см.

### 8.2.2. Начальное просадочное давление

Начальное просадочное давление  $p_{sl}$  – минимальное давление, при котором начинает проявляться просадка при полном водонасыщении грунта. Начальное просадочное давление по своей сущности представляет собой структурную

прочность  $P_{стр}$  водонасыщенного лессового грунта. За начальное просадочное давление  $p_{sl}$  принимается давление, соответствующее:

- при компрессионных испытаниях – давлению, при котором относительная просадочность  $\epsilon_{sl} = 0,01$ ;
- при полевых испытаниях штампами предварительно замоченных грунтов – давлению, равному пределу пропорциональности на графике «нагрузка – осадка»  $s = f(p)$ .
- при замачивании грунтов в опытных котлованах - природному давлению на глубине, начиная с которой происходит просадка грунта от собственного веса ( $p_{sl} = \sigma_{zg}$ ). Глубина проявления просадки устанавливается по показаниям глубинных марок или по величине начального просадочного давления  $p_{sl}$ .

Начальное просадочное давление косвенно характеризует степень просадочности грунта. Чем больше величина  $p_{sl}$ , тем менее просадочный грунт, и, наоборот, чем меньше величина  $p_{sl}$ , тем более просадочный грунт.

Начальное просадочное давление  $p_{sl}$  используется для следующих целей:

- определения высоты зон просадочных деформаций;
- определения глубины проявления просадки от собственного веса грунта;
- расчета возможной просадки от внешней нагрузки.

### 8.2.3. Начальная просадочная влажность

Начальная просадочная влажность  $w_{sl}$  – минимальная влажность, при которой проявляются просадочные свойства грунта от внешней нагрузки или собственного веса грунта. Критерием для определения начальной просадочной влажности, так же, как и при определении начального просадочного давления, служит относительная просадочность величиной  $\epsilon_{sl} = 0,01$ . Начальная просадочная влажность определяется по результатам компрессионных испытаний методом двух кривых.

Начальная просадочная влажность  $w_{sl}$  зависит от величины давления  $p_i$  и, каждому его значению соответствует свое значение  $w_{sl}$ . Большому давлению соответствует меньшее значение  $w_{sl}$ , меньшему давлению - большее значение  $w_{sl}$ . Следовательно, наибольшее значение начальной просадочной влажности  $w_{sl}$  соответствует начальному просадочному давлению  $p_{sl}$ .

Начальная просадочная влажность  $w_{sl}$  используется для оценки зависимости относительной просадочности от влажности, а также для выявления проявления просадки лессовых грунтов от собственного веса при повышении их влажности не до полного водонасыщения.

### 8.3. Расчет просадок грунтов основания

Просадка грунтов основания определяется по формуле [16]

$$S_{sl} = \sum \varepsilon_{sl,i} \cdot h_i \cdot K_{sl,i} ; \quad (8.4)$$

где:  $\varepsilon_{sl,i}$  - относительная просадочность  $i$ -го слоя грунта;  $h_i$  - толщина  $i$ -го слоя;  $K_{sl,i}$  - коэффициент, зависящий от размеров фундамента.

Различают просадку от собственного веса грунта  $S_{slg}$  и просадку от внешней нагрузки  $S_{slp}$ . Оба вида просадок ( $S_{slg}$  и  $S_{slp}$ ) определяются по выражению (8.4). Однако имеются некоторые отличия в их определении.

При определении просадки от собственного веса грунта  $S_{slg}$ , во-первых, значения относительной просадочности  $\varepsilon_{sl,i}$  по глубине лессовой толщи должны быть определены только от действия природного давления  $\sigma_{zgi}$ , т.е. вертикального напряжения от собственного веса грунта на соответствующей глубине. Во-вторых, при определении просадки от собственного веса грунта  $S_{slg}$  коэффициент  $K_{sl,i}$ , входящий в формулу (8.4) принимается равной единице, т.е.  $K_{sl,i} = 1$ .

Когда требуется определить просадку от внешней нагрузки  $S_{slp}$  относительная просадочность грунта  $\varepsilon_{sl, i}$  должна быть определена от суммарного давления  $(\sigma_{zg} + \sigma_{zp})$  на соответствующей глубине от подошвы фундамента. Кроме того коэффициент  $K_{sl, i}$  принимается:

а) при ширине подошвы фундамента  $b \geq 12$  м,  $K_{sl} = 1,0$  для всех слоев грунта в пределах зоны просадки.

б) при  $b \leq 3$  м - коэффициент  $K_{sl, i}$  вычисляется по формуле

$$K_{sl, i} = 0,5 + 1,5(p - p_{sl, i}) / p_0; \quad (8.5)$$

где:  $p$  - среднее давление под подошвой фундамента;

$p_{sl, i}$  - начальное просадочное давление грунта  $i$ -го слоя;

$p_0$  - давление, равное 100 кПа (1 кгс/см<sup>2</sup>).

в) при  $3\text{ м} < b < 12\text{ м}$  - коэффициент  $K_{sl, i}$  определяется по интерполяции между значениями, полученными при  $b = 3$  м и  $K_{sl} = 1$ .

При определении просадок грунтов следует учитывать, что полное проявление просадок от собственного веса грунта  $S_{slg}$  достигается лишь при полном замачивании сверху больших площадей (ширина замачиваемой площади  $B_w$  равна или превышает мощность просадочного слоя  $H_{sl}$ ) и замачивании снизу за счет поднятия уровня подземных вод. В случаях, когда  $B_w < H_{sl}$ , просадка от собственного веса грунта  $S_{slg}$  проявляется частично (не полностью).



## **Раздел 2**

# **ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ И РАСЧЕТЫ**

## 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО - МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

### 9.1. Определение плотности грунта методом непосредственных измерений

Метод непосредственных измерений применим в тех случаях, когда из монолита грунта или непосредственно на месте, возможно, вырезать образцы правильной геометрической формы. Этот метод является менее точным за счет менее точного определения объема грунта. При этом методе объем грунта определяется как объем геометрической фигуры.

**Необходимые оборудования:** весы; металлическая линейка с делениями, штангенциркуль.

#### Методика определения:

1. Из монолита грунта (горной породы) вырезать, выпиливать или выбуривать образец правильной формы в виде куба, прямоугольного параллелепипеда или цилиндра;
2. Размеры образца измерить штангенциркулем или линейкой, вычислить объем по соответствующим формулам;
3. Взвесить образец на весах с точностью до 0,01г;
4. Вычислить плотность горной породы по формуле 5.1.

Для каждой пробы горной породы следует проводить не менее двух параллельных опытов и вычислить среднее значение плотности с точностью до 0,01г/см<sup>3</sup>. Расхождение результатов между параллельными определениями допускается в пределах до 0,02 г/см<sup>3</sup>.

**Пример 9.1.** Образец связного грунта цилиндрической формы диаметром  $d = 65\text{ мм}$  и высотой  $h = 104\text{ мм}$  имеет массу  $m_z = 605,8\text{ г}$ . Определить плотность грунта в г/см<sup>3</sup>.

#### Решение:

а) определяем объем грунта, как объем цилиндра  
$$V_z = (\pi d^2 / 4) \cdot h = (3,14 \cdot 6,5^2 / 4) \cdot 10,4 = 344,93\text{ см}^3$$

б) определяем плотность грунта  
$$\rho = m_z / V_z = 605,8 / 344,93 = 1,756\text{ г/см}^3$$

**Пример 9.2.** Образец связного грунта массой  $m_z=1548,3\text{г}$ , кубической формы имеет размеры 98мм, 102мм и 95мм. Определить плотность грунта.

**Решение:**

- а) определяем объем грунта, как объем параллелепипеда

$$V_z = 9,8 \cdot 10,2 \cdot 9,5 = 949,62 \text{ см}^3$$

- б) определяем плотность грунта

$$\rho = m_z / V_z = 1548,3 / 949,62 = 1,63 \text{ г/см}^3 \text{ (т/м}^3\text{)}.$$

### 9.2. Определение плотности грунта методом режущего кольца (ГОСТ 5180-84)

Этот метод применим для связных грунтов, из которых можно вырезать образцы грунта режущим кольцом. При этом методе объем грунта принимается равным внутреннему объему кольца, который определяется как объем цилиндра.

**Необходимые оборудования:** режущее кольцо, технические весы, штангенциркуль, нож с прямым лезвием, технический вазелин, бумажные салфетки, два плоских стекла размерами 10х10см.

**Методика определения:**

1. Смазать режущее кольцо с внутренней стороны техническим вазелином и взвесить его ( $m_1$ ), г.

2. Замерить внутренний диаметр  $d$  и высоту  $h$  кольца штангенциркулем

3. Заполнить режущее кольцо грунтом. Для этого кольцо с заостренной стороной ставится на зачищенную и выровненную поверхность монолита грунта. Далее, острым ножом вырезая столбик грунта, постепенно вдавливают кольцо (рис.9.1). При этом не допускается нарушение естественной структуры грунта. Вместе с тем необходимо следить за плотным заполнением кольца грунтом. После того как столбик грунта выступит над верхним краем кольца (см. рис.9.1), с некоторым запасом грунт срезать снизу. Далее, зачистить грунт с обеих сторон вровень с краями и протереть кольцо с наружной стороны салфеткой.

4. Взвесить кольцо с грунтом ( $m_2$ ), 2.

5. Определить массу грунта как  $m_z = m_2 - m_1$ ;

6. Определить объем грунта как

$$V_z = \pi d^2 h / 4, \text{ см}^3;$$

$d$  - внутренний диаметр кольца, см;  $h$  - высота кольца, см.

7. Определить плотность грунта по формуле 5.1

Если исследуемый грунт песчаный, который не может держаться в кольце, тогда с двух сторон кольцо ставят заранее взвешенные стекла ( $m_3$ ). В этом случае  $m_2 = (m_1 + m_z + m_3)$ , а  $m_z = m_2 - (m_1 + m_3)$ ;  $m_3$  - общая масса двух стекол.

Параллельно выполнить не менее двух опытов. Расхождение результатов между параллельными определениями не должно превышать 0,02 г/см<sup>3</sup>. Данные опыта занести в журнал (табл. 9.1).

Таблица 9.1

№№ колец	Масса пустого кольца, $m_1$	Масса кольца с грунтом, $m_2$	Масса грунта $m_z$	Объем грунта, $V_z$	Плотность грунта, $\rho$	
					из опыта	среднее значение
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						



Рис.9.1. Разделка монолита на отдельные образцы и отбор грунта в режущее кольцо



**Пример 9.3.** По данным опыта для образца связного грунта цилиндрической формы получены следующие данные:  $m_1 = 48,54\text{г}$ ;  $m_2 = 133,28\text{г}$ ;  $d = 56\text{мм}$ ;  $h = 20,6\text{мм}$ . Определить плотность грунта в  $\text{г/см}^3$ .

**Решение:**

а) определяем объем грунта, как объем цилиндра

$$V_z = (\pi d^2 / 4) \cdot h = (3,14 \cdot 5,6^2 / 4) \cdot 2,06 = 50,71 \text{ см}^3$$

б) определяем плотность грунта

$$\rho = m_z / V_z = (133,28 - 48,54) / 50,71 = 1,671 \text{ г/см}^3.$$

**Пример 9.4.** По данным опыта для образца песчаного грунта получены:  $m_1 = 44,62\text{г}$ ;  $m_2 = 159,34\text{г}$ ,  $m_3 = 25,77\text{г}$ ,  $d = 55\text{мм}$ ;  $h = 21,0\text{мм}$ . Определить плотность грунта в  $\text{г/см}^3$ .

**Решение:**

а) определяем объем грунта, как объем цилиндра

$$V_z = (\pi d^2 / 4) \cdot h = (3,14 \cdot 5,5^2 / 4) \cdot 2,1 = 49,87 \text{ см}^3$$

б) определяем плотность грунта

$$\rho = (159,34 - 44,62 - 25,77) / 49,87 = 1,784 \text{ г/см}^3.$$

### 9.3. Определение плотности грунта методом парафинирования (ГОСТ 5180-84)

Этот метод применим для связных грунтов, содержащих твердые включения и из которых невозможно вырезать образцы правильной формы, или набрать грунт в режущее кольцо. Этот метод является менее точным за счет менее точного определения объема грунта. В этом методе объем образца грунта определяется путем его погружения в мерный цилиндр по объему вытесненной воды (рис. 9.2).

**Необходимые оборудования:** весы, кастрюля с парафином, нож, игла, нитки, градуированный цилиндр с водой.

### Методика определения:

1. Вырезать из монолита грунта образец объемом не менее 30 см<sup>3</sup> без нарушения структуры круглой или овально-цилиндрической формы, зачистить острые углы ножом до придания сравнительно гладкой поверхности и взвесить его  $m_2$ ;

2. Образец грунта обвязать ниткой и погружать в расплавленный парафин, чтобы покрыть его тонким слоем парафина (рис.9.2а). Пузырьки воздуха на парафиновой оболочке прокалывать нагретой иглой и заглаживать. Погружение повторить два раза.

3. Взвесить парафинированный образец ( $m_1$ );

4. Определить массу парафина как  $m_n = m_1 - m_2$ ;

5. Определить объем парафина как

$$V_n = m_n / 0,9 ;$$

где 0,9 – плотность парафина, г/см<sup>3</sup>

6. Опустить парафинированный образец в градуированный цилиндр с водой и определить объем парафинированного образца  $V_{z+n}$  по объему вытесненной воды (см. рис. 9.2б).



а



б

Рис. 9.2. Покрытие образца грунта парафином (а) и замер его объема по объему вытесненной воды (б)

7. Определить объем грунта как  $V_z = V_{z+n} - V_n$ ;

8. Определить плотность грунта

Параллельно выполнить не менее двух опытов. Данные опыта занести в журнал (табл.9.2).

Таблица 9. 2

№№ опы- тов	Масса грунта, г		Объем парафина, $V_n$ , см <sup>3</sup>	Объем грунта, $V_z$ , см <sup>3</sup>	Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	
	без пара- фина, $m_z$	с парафи- ном, $m_1$			из опыта	средняя
1						
2						

**Пример 9.5.** По данным опыта получены:  $m_z = 80,34$ г;  $m_1 = 94,13$ г;  $V_{z+n} = 62,25$  см<sup>3</sup>. Определить плотность грунта.

**Решение:**

а) определяем объем парафина

$$V_n = m_n / 0,9 = (94,13 - 80,34) / 0,9 = 15,32 \text{ см}^3$$

б) определяем объем грунта

$$V_z = V_{z+n} - V_n = 62,25 - 15,32 = 46,93 \text{ см}^3$$

в) определяем плотность грунта

$$\rho = m_z / V_z = 80,34 / 46,93 = 1,71 \text{ г/см}^3.$$

#### 9.4. Определение плотности грунта методом взвешивания в воде (ГОСТ 5180-84)

Этот метод является наиболее точным и применяется в случаях, когда не представляется возможным или трудно вырезать образцы правильной формы, как например, при методе режущего кольца или непосредственных измерений. В этом методе объем образца грунта может определяться как по потере его веса при погружении в воду (методика-1), так и по весу (объему) вытесненной воды (методика-2), применив закон Архимеда. При определении объема образца грунта по методике-1 парафинированный образец взвешивается в воде в

положении взвешенного состояния (рис.9.3 и 9.4), для чего используются весы с приспособлением для гидростатического взвешивания (ГОСТ 24104). При определении объема образца грунта по методике-2 парафинированный образец взвешивается в сосуде с полной водой (рис.9.5), например, как при пикнометрическом методе.

Для предотвращения размокания и проникновения воды внутрь грунта его заранее парафинируют. Поэтому этот метод иногда ошибочно называют методом парафинирования [15,17]. Для скальных пород взвешивание в воде можно проводить без предварительного покрытия образца парафином, т.к. за краткое время вода не успевает проникнуть в скальную породу.

**Приборы и оборудования:** весы с приспособлением для гидростатического взвешивания по ГОСТ 24104; фильтровальная бумага, нож, парафин, нитки, шкаф сушильный, сосуд для парафинирования образцов, щетка металлическая.

#### **Методика проведения опыта (методика -1):**

1.Вырезать из монолита грунта образец примерно овальной формы объемом не менее  $30 \text{ см}^3$ , заглаживать острые углы. Если порода скальная или полускальная, либо содержит включения гальки, щебня, образец может иметь любую форму.

2.Взвесить образец грунта ( $m_0$ ).

3.Образец породы обвязать ниткой и погрузить в расплавленный парафин (температура около  $70^\circ\text{C}$ ), чтобы покрыть его тонким слоем парафина (см. рис.9.2). Пузырьки воздуха на парафиновой оболочке прокалывать нагретой иглой и заглаживать. Погружение повторить два раза.

4.Взвесить парафинированный образец грунта ( $m_1$ ).

5.Парафинированный образец взвесить в воде во взвешенном состоянии ( $m_2$ ) (см. рис.9.3 и 9.4). Объем сосуда и длина нити должны обеспечить полное погружение образца в воду. Для этого над чашей весов устанавливают подставку для сосуда с водой так, чтобы исключить ее касание к чаше весов (или снимают подвес с чашей с серьги, уравновесив весы дополнительным грузом). К серьге коромысла подвешивают образец и



опускают в сосуд с водой (см. рис.9.3). При этом образец не должен касаться дна и стенок сосуда и должен быть свободно подвешен в воде.

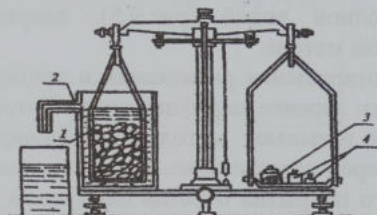


Рис.9.3. Весы с приспособлением для гидростатического взвешивания по ГОСТ 24104

- 1- сетчатый (перфорированный) стакан; 2- сосуд со сливом для воды; 3 -стаканчик с дробью для уравнивания массы сетчатого стакана в воде; 4 — разновесы



Рис. 9.4. Приспособление для гидростатического взвешивания

### Методика-2:

1. Взвесить сосуд с полной водой ( $m_3$ ) (см. рис.9.5а).
2. Взвесить сосуд с полной водой вместе с парафинированным образцом ( $m_4$ ) (см. рис. 9.5 б). Далее определить
3. Определить объем парафинированного образца по выражению

$$m_2 = m_4 - m_3;$$

$$V_{z+n} = (m_1 - m_2) / \rho_w;$$



**а**



**б**

Рис. 9.5. Взвешивание мерного сосуда. **а** - с полной водой;  
**б** - то же, с парафинированным образцом грунта

8. Определить объем парафина по выражению

$$V_n = (m_1 - m_2) / \rho_n;$$

где  $\rho_n$  - плотность парафина, равной 0,9 г/см<sup>3</sup>

8. Определить объем грунта как  $V_z = V_{z+n} - V_n$ ;

9. Определить плотность грунта по выражению 5.1

10. Для скальных и полускальных горных пород плотность можно определять без предварительного покрытия образца парафином, принимая  $V_z = (m_1 - m_2) / \rho_w$ ;

Для каждой пробы следует проводить два параллельных определения. Данные опытов занести в журнал (табл. 9. 3)

Таблица 9. 3

№№ опы тов	Масса, г			Объем, см <sup>3</sup>			Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	
	$m$	$m_1$	$m_2$	$V_{z+n}$	$V_n$	$V_z$	из опыта	средняя
1								
2								

**Пример 9. 6.** По методике-1 для образца пылевато-глинистого грунта получены опытные данные:

$$m_z = 1914г; m_1 = 1961г; m_2 = 858г.$$

Определить плотность грунта в  $г/см^3$ .

**Решение:**

а) определяем объем парафинированного образца

$$V_{z+n} = (m_1 - m_2) / \rho_w = (1961 - 858) / 1,0 = 1103 см^3$$

б) определяем объем парафина

$$V_n = (m_1 - m_z) / \rho_n = (1961 - 1914) / 0,9 = 52,22 см^3$$

в) определяем плотность грунта

$$\rho = m_z / V_z = 1914 / (1103 - 52,22) = 1,82 г/см^3$$

**Пример 9. 7.** По данным опыта для образца скального грунта получены данные (без парафина):  $m_z = m_1 = 1783г$ ;  $m_2 = 914г$ . Определить плотность грунта.

**Решение:**

а) определяем объем грунта

$$V_z = (m_1 - m_2) / \rho_w = (1783 - 914) / 1,0 = 869 см^3$$

в) определяем плотность грунта

$$\rho = m_z / V_z = 1783 / 869 = 2,05 г/см^3$$

**Пример 9. 8.** Для образца пылевато-глинистого грунта получены данные:  $m_z = 585г$ ;  $m_1 = 596г$ ;  $m_2 = 294г$ ;  $m_3 = 1536г$ ;  $m_4 = 1830г$ . Определить плотность грунта.

**Решение:**

по методике -1

а) определяем объем парафинированного образца

$$V_{z+n} = (m_1 - m_2) / \rho_w = (596 - 294) / 1,0 = 302 см^3$$

б) определяем объем парафина

$$V_n = (m_1 - m_z) / \rho_n = (596 - 585) / 0,9 = 12,22 см^3$$

в) определяем плотность грунта

$$\rho = m_z / V_z = 585 / (302 - 12,22) = 2,02 г/см^3$$

а) Определяем массу  $m_2 = m_4 - m_3 = 1830 - 1536 = 294\text{г}$ ;

б) Определяем объемы (как в примере 9.6):

$$V_{z+n} = 302\text{см}^3; \quad V_n = 12,22\text{ см}^3; \quad V_z = 289,78\text{ см}^3;$$

в) Определяем плотность грунта

$$\rho = 585 / 289,78 = 2,02\text{ г/см}^3;$$

### 9.5. Определение плотности грунта методом замещения объема (метод лунки) (ГОСТ 28514 – 90)

Данный метод распространяется на пылевато-глинистые, песчаные и крупнообломочные грунты и позволяет определить плотность грунтов в полевых условиях. Сущность метода заключается в определении плотности грунта путем замещения объема пробы, отобранного из лунки, однородным материалом с известной плотностью. Максимальный объем пробы устанавливается в зависимости от максимальной крупности зерен испытуемого грунта согласно таблице 9.4.

Таблица 9.4

Максимальная крупность зерен грунта, мм	10	20	31,5	40	63
Максимальный объем пробы, см <sup>3</sup>	1200	1500	2000	3000	6000

В качестве однородного материала, который заменяет объем пробы грунта, применяют свободно сыпучий песок (воздушно-сухой), зерновой состав которого отвечает требованию

$$d_{\max} / d_{\min} \leq 2; \quad 2\text{ мм} > d > 0,2\text{ мм};$$

где:  $d$  – крупность (размер) зерен наполняющего песка, мм;



$d_{\max}$  — крупность зерен, выраженная максимальным размером квадратной ячейки верхнего контрольного сита, не более 2мм;

$d_{\min}$  — крупность зерен, выраженная минимальным размером квадратной ячейки нижнего контрольного сита, не менее 0,2мм;

При повторном использовании наполняющий песок должен быть пропущен через сита с размером отверстий, соответствующим максимальному и минимальному размеру частиц песка, используемого для проведения испытания.

**Методика определение плотности наполняющего песка  $\rho_0$ .** До начало проведения испытания грунта (определения плотности грунта) определяют плотность самого наполняющего песка  $\rho_0$ . Для этого мерный (калибровочный) сосуд путем осторожного, свободного и равномерного высыпания наполняется песком, замеряется масса высыпанного песка и путем деления массы песка к объему мерного сосуда определяют плотность наполняющего песка. За результат определения плотности наполняющего песка принимают среднее арифметическое значение результатов двух параллельных измерений, которые не должны отличаться друг от друга более чем на  $0,01 \text{ г/см}^3$ , иначе опыты повторяются. Плотности наполняющего песка  $\rho_0$  перед каждой серией испытаний уточняется контрольными опытами. По нашим опытам значение  $\rho_0$  для волжских песков составляет  $1,33\text{--}1,34 \text{ г/см}^3$ . В случае использования другого вида песка или заменяющего материала значение  $\rho_0$  уточняется.

#### **Методика проведения испытания:**

1. На уплотненном (испытуемом) слое грунта выравнивают площадку и выкапывают лунку (ямочку) объемом в соответствии с табл. 9.4.

2. Извлеченный из лунки грунт тщательно собирают, не теряя кусочки (частички) и не добавляя лишнего, определяют массу ( $m_1$ ).

3. Лунку вровень с краями заполняют наполняющим песком осторожным высыпанием из пескозагрузочного бака.

4. Определяют массу песка, наполняющего лунку ( $m_2$ ) по разнице масс пескозагрузочного бака до и после наполнения лунки.

5. Определяют объем грунта, равного объему лунки как

$$V_z = m_2 / \rho_0 ;$$

где  $\rho_0$  - плотность наполняющего песка, г/см<sup>3</sup>.

6. Определяют плотность испытуемого грунта по формуле

$$\rho = m_1 / V_z ; \quad \text{г/см}^3$$

За результат принимают среднее арифметическое значение результатов двух параллельных опытов, значения которых не должны отличаться друг от друга более чем на 0,05 г/см<sup>3</sup>. Если отличие больше, то следует проводить еще один аналогичный опыт.

ГОСТ 28514-90 рекомендует применение двух аппаратов для измерения объема пробы грунта, извлекаемого из лунки: аппарат с пескозагрузочным баком и аппарат с резиновым баллоном. На рис. 9.6 представлена методика определения плотности грунта с использованием пескозагрузочного бака.

При массовых испытаниях (большом объеме работ), для сравнения, параллельно с песком можно пользоваться и водой (рис.9.7). Тогда вместо  $\rho_0$  принимается плотность воды  $\rho_w = 1,0$  г/см<sup>3</sup>. Опыты показали расхождение в результатах не более 0,02 г/см<sup>3</sup>.



Рис. 9.6. Определение плотности грунта основания дорожной одежды с использованием пескозагрузочного бака



Рис.9.7. Контроль плотности укатанного слоя грунтовой подушки методом лунки с использованием воды

**Пример 9.9.** При контроле плотности укатанного слоя грунтовой подушки с использованием пескозагрузочного бака получены:  $m_1 = 3055\text{г}$ ;  $m_2 = 2057\text{г}$ ; плотность наполняющего песка  $\rho_0 = 1,34\text{ г/см}^3$ . Определить плотность грунта.

**Решение:**

а) определяем объем грунта

$$V_z = m_2 / \rho_0 = 2057 / 1,34 = 1535\text{ см}^3$$

в) определяем плотность грунта

$$\rho = m_1 / V_z = 3055 / 1535 = 1,99\text{ г/см}^3;$$

**Пример 9.10.** При контроле плотности укатанного слоя грунтовой подушки (по примеру 7.9) с замещением объема водой (см. рис.9.7) получены:  $m_1 = 3140\text{г}$ ;  $m_2 = 1612\text{г}$ . Определить плотность грунта.

**Решение:**

а) определяем объем грунта при  $\rho_w = 1,0\text{ г/см}^3$

$$V_z = 1612 / 1,0 = 1612\text{ см}^3$$

в) определяем плотность грунта

$$\rho = m_1 / V_z = 3140 / 1612 = 1,98\text{ г/см}^3;$$

Как видно, разница результатов двух параллельных опытов (примеры 9.9 и 9.10) составляет  $0,01\text{ г/см}^3$  или  $(1,99 - 1,98) / 1,99 = 0,5\%$ .

**Пример 9.11.** Для примеров 9.9 и 9.10 получена весовая влажность грунта  $W = 16,3 \%$ . Определить плотность сухого грунта (плотность скелета грунта).

**Решение:**

определяем плотность сухого грунта по выражению

$$\rho_d = \rho / (1 + W);$$

По примеру 9.9.  $\rho_d = 1,99 / (1 + 0,163) = 1,711 \text{ г/см}^3$ ;

По примеру 9.10.  $\rho_d = 1,98 / (1 + 0,163) = 1,702 \text{ г/см}^3$ ;

#### 9.6. Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом (ГОСТ 5180 – 84)

**Приборы и оборудования:** весы, пикнометр, воронка, капельница с пипеткой, термометр, фарфоровая ступка с пестиком, шпатель, сито с отверстиями 2 мм, песчаная или водяная баня, дистиллированная вода, фильтровальная бумага, электроплитка.

**Подготовка пробы грунта:** образец грунта в воздушно-сухом состоянии растирают пестиком в фарфоровой ступке (без дробления минеральных зерен) и просеивают через сито с диаметром отверстий 2мм. Из просеянной пробы берется около 15 - 20 г из расчета на каждый опыт. Для ускорения опыта студенту предлагается готовая проба.

**Методика проведения опыта:**

1. Взвесить чистый сухой пикнометр ( $m_1$ ) (рис. 9.8 а)
2. В пикнометр через воронку осторожно высыпать около 15- 20 г сухой навески и взвесить ( $m_2$ ) (рис.9.8 б).
3. Налить в пикнометр примерно 1/3 его объема дистиллированной воды. При этом необходимо следить, чтобы выше уровня воды на внутренних стенках пикнометра не оставались частицы грунта (они должны быть смыты водой). Далее пикнометр осторожно взболтать, поставить его на песчаную (водяную) баню и кипятить суспензию для удаления



из нее воздуха (30 мин для песчаных грунтов и 60 мин для пылевато-глинистых грунтов). Если грунт засоленный, тогда вместо дистиллированной воды используется нейтральная жидкость (например, обезвоженный керосин), а воздух из суспензии удаляется с помощью вакуум - насоса.

4. После кипячения пикнометр с суспензией охладить до комнатной температуры, долить в него дистиллированную воду до мерной черты, протереть пикнометр с наружной стороны фильтровальной бумагой и взвесить ( $m_3$ ) (рис. 9.8 в).

5. Вылить из пикнометра суспензию, промыть и заполнить дистиллированной водой до той же мерной черты, протереть и взвесить ( $m_4$ ) (рис. 9.8 г).

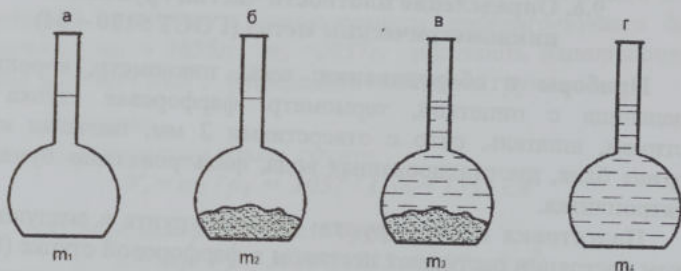


Рис.9.8. Последовательность взвешивания пикнометра

6. Данные опыта занести в журнал (табл.9.5) и вычислить плотность частиц грунта по формуле

$$\rho_s = \{(m_2 - m_1) / [(m_4 + m_2) - (m_3 + m_1)]\} \cdot \rho_w; \quad (9.1)$$

где  $\rho_w$  - плотность воды, равной  $1 \text{ г/см}^3$ .

Знаменатель выражения (9.1) представляет массу воды, вытесненной грунтом, а деление плотности воды на массу воды дает объем грунта, равного объему вытесненной воды.

$m_1$  - масса пустого пикнометра,

$m_2$  - масса пикнометра с грунтом,

$m_3$  - масса пикнометра с грунтом и водой,

$m_4$  - масса пикнометра только с водой

Таблица 9.5

№ пикно- метра	Масса, г				Плотность частиц, $\rho_s$	
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	по опыту	среднее значение
1	2	3	4	5	6	7

**Пример 9.12.** По данным опыта получены:  $m_1 = 27,75\text{г}$ ;  $m_2 = 41,48\text{г}$ ;  $m_3 = 135,57\text{г}$ ;  $m_4 = 126,96\text{г}$ .  
Определить плотность частиц грунта в  $\text{г/см}^3$ .

**Решение:** По формуле 9.1 находим

$$\rho_s = \{(41,48 - 27,75) / [(126,96 + 41,48) - (135,57 + 27,75)]\} \cdot 1,0 = 2,68 \text{ г/см}^3;$$

### 9.7. Определение весовой влажности (ГОСТ 5180-84)

**Необходимые оборудования:** весы, бюксы, сушильный шкаф с термометром до  $150^\circ\text{C}$ , эксикатор, шпатель.

**Методика определения:**

1. Определить массу пустого бюкса с крышкой ( $m_1$ ).
2. Поместить в бюксы пробу грунта массой около 15-20 г, закрыть его крышкой и взвесить ( $m_2$ ) (рис. 9.9).
3. Снять крышку, поставить снизу и бюкс поставить в сушильный шкаф для высушивания грунта. Для этого в течение 1 часа постепенно поднимать температуру до  $100-105^\circ\text{C}$ . Высушить грунт при этой температуре не менее 6 часов.
4. Вынуть бюкс с высушенным грунтом из сушильного шкафа, закрыть крышку, охладить до комнатной температуры и взвесить ( $m_3$ ).

5. Определить весовую влажность грунта по формуле

$$w = m_w / m_{m.ч} = [(m_2 - m_3) / (m_3 - m_1)] \times 100\%; \quad (9.2)$$

6. Для каждого образца грунта проводить не менее двух опытов. Данные опытов занести в журнал (табл. 9.6).

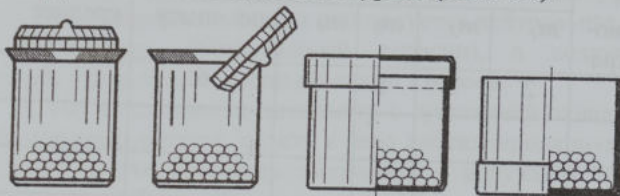


Рис. 9.9. Стекланные и алюминиевые бюксы

Таблица 9.6

№№ бюксов	Масса, г			Весовая влажность, $w$	
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	по опыту	среднее значение
1	2	3	4	5	6

$m_1$  - масса пустого бюкса

$m_2$  - масса бюкса с влажным грунтом

$m_3$  - масса бюкса с сухим грунтом

**Пример 9.13.** По данным опыта для образца связного грунта получены:  $m_1 = 26,38\text{г}$ ;  $m_2 = 53,41\text{г}$ ;  $m_3 = 48,67\text{г}$ ; Определить весовую и объемную влажность грунта в процентах.

**Решение:**

1) по выражению 9.2 весовая влажность грунта равна

$$w = [(53,41 - 48,67) / (48,67 - 26,38)] \times 100\% = 21,27\%;$$

2) для грунта с плотностью скелета  $\rho_d = 1,711 \text{ г/см}^3$  (по примеру 9.11) и весовой влажностью  $w = 21,27\%$  определяем объемную влажность по выражению 5.9

$$w_v = w \cdot \rho_d = 21,27 \cdot 1,711 = 36,39 \%$$

## 9.8. Упрощённо - комбинированная методика определения плотности-влажности грунта

Плотность и влажность являются исходными данными для определения плотности сухого грунта, по величине которой дается оценка степени (качества) уплотнения грунта. Следовательно, достоверность определения плотности сухого грунта зависит от точности определения плотности - влажности грунта. Плотность и влажность определяются по отдельности путем проведения двух самостоятельных опытов. Точность их определения во многом зависит от точности взвешивания, и когда в этих двух опытах приходится пять раз производить взвешивание (дважды при определении плотности и трижды при определении влажности), малейшая неточность взвешивания может оказать влияние на конечный результат.

Нами предлагается упрощенно-комбинированная методика прямого определения плотности и влажности грунта по данным одного опыта. Предлагаемая методика не является стандартной и не встречается в нормативно-технической литературе.

По этой методике две отдельные опыты (пп. 9.2 и 9.7) объединяются, а полученные данные позволяют одновременно находить искомые три величины – плотности грунта, влажности и плотности сухого грунта. Многочисленные лабораторные опыты позволили удостовериться, что данные предлагаемой методики практически сходятся с данными традиционных методик определения по отдельности плотности и влажности. Для связных грунтов эта методика позволяет сократить и время проведения опыта, и число взвешиваний до трех раз.

Предлагаемая упрощённо-комбинированная методика реализуется в следующем порядке:

- взвесить пустое стандартное режущее кольцо ( $m_1$ );
- заполнить режущее кольцо грунтом (см.п.9.2) и взвесить ( $m_2$ );
- кольцо с грунтом ставить в сушильный шкаф для высушивания грунта;
- взвесить кольцо с высушенным грунтом ( $m_3$ ).



По этим данным определяют:

1. Плотность грунта -  $\rho = m_z / V_z = (m_2 - m_1) / V_z$ ;

2. Плотность сухого грунта -  $\rho_d = m_{cz} / V_z = (m_3 - m_1) / V_z$ ;

3. Весовую влажность -  $w = (m_2 - m_3) / (m_3 - m_1)$ ;

или  $w = (\rho - \rho_d) / \rho_d$ ;

где  $V_z$  - объем грунта, равный внутреннему объему кольца.

**Пример 9.14.** По данным опыта для образца связного грунта получены:  $m_1 = 45,12\text{г}$ ;  $m_2 = 133,83\text{г}$ ;  
 $m_3 = 119,63\text{г}$ ,  $V_z = 50\text{ см}^3$

Определить плотность грунта, плотность сухого грунта, а также весовую и объемную влажности.

**Решение:**

1) плотность влажного грунта составляет

$$\rho = (m_2 - m_1) / V_z = (133,83 - 45,12) / 50 = 1,774\text{ г/см}^3$$

2) плотность сухого грунта (плотность скелета) равна

$$\rho_d = (m_3 - m_1) / V_z = (119,63 - 45,12) / 50 = 1,49\text{ г/см}^3$$

3) весовая влажность равна (формула 9.2)

$$w = (133,83 - 119,63) / (119,63 - 45,12) = 0,1906 = 19,06\%$$

4) объемная влажность грунта равна

$$w_v = w \cdot \rho_d = 19,06 \cdot 1,49 = 28,40\%$$

## 9.9. Определение влажности грунта на пределе текучести (ГОСТ 5180-84)

**Необходимые оборудования:** весы, балансирующий конус Васильева, стеклянная пластинка, сушильный шкаф, шпатель, фарфоровая чашка, бюксы, эксикатор, фарфоровая ступка с резиновым пестиком, сито с отверстиями 1 мм, секундомер, дистиллированная вода.

**Подготовка грунта.** Образец грунта в воздушно-сухом состоянии измельчают, растирают в фарфоровой чашке, одновременно удаляя растительные остатки крупнее 1 мм, и просеивают через сито с отверстиями 1 мм.

### Методика определения:

1. Просеянный грунт помещают в фарфоровую или резиновую чашку, добавляют дистиллированную воду и, перемешивая грунт с водой, готовят густую пасту.

2. Заполняют тигель прибора грунтовой пастой заподлицо с краями, не оставляя пустых мест в тигле. Тигель с пастой ставят на подставку (рис. 9.10)

3. На поверхность пасты осторожно ставят балансирующий конус, включая одновременно секундомер. Если конус за 5 секунд погрузится до круговой метки (на 10 мм), то влажность пасты будет соответствовать влажности на границе текучести. После достижения этого условия в заранее взвешенные боксы набрать около 15 - 20 г пасты и определить ее влажность по методике, изложенной в п. 9.7.

4. Если же конус за 5 секунд погрузится в пасту на большую или меньшую глубину, тогда нужно вынуть пасту из тигля, добавляя, либо сухого грунта, либо воды, повторить опыт до тех пор, пока не будет выполнено условие п. 3.

5. Для каждого образца грунта провести не менее двух определений, результаты занести в журнал (табл. 9.7) и вычислить влажность на границе текучести по методике, изложенной в п. 9.7. Расхождение результатов не должно превышать 2%.

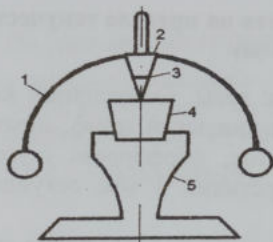


Рис. 9.10. Балансирный конус Васильева:

1. коромысла; 2. конус с ручкой; 3. круговая метка;  
4. тигель; 5. подставка

Таблица 9.7

№№ бюксов	Масса, г			Весовая влажность, $w$	
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	по опыту	среднее значение
1	2	3	4	5	6

$m_1, m_2, m_3$  - те же, что в п. 9.7.

### 9.10. Определение влажности грунта на пределе пластичности (ГОСТ 5180-84)

**Необходимые оборудования:** весы, стеклянная пластинка или глянцевая бумага, грунтовая паста.

#### Методика определения:

1. Небольшой кусочек грунтовой пасты, приготовленной по п. 9.9, раскатывают в шнур ладонью на стеклянной пластинке или бумаге до образования жгута диаметром 3 мм. Если жгут при этом диаметре начинает делиться на кусочки длиной 3 -10 мм (рис. 9.11), то влажность на границе пластичности (раскатывания) считается достигнутой.

2. Если жгут при диаметре 3 мм не делится на кусочки, это означает, что в данной пасте много воды. Тогда жгут собирают в комок и снова раскатывают. Если же, наоборот, жгут начинает делиться на кусочки при большем диаметре, это означает, что в пасте мало воды. Тогда кусочки собирают в комок, добавляя немного воды, перемешивают и снова раскатывают. Все это повторяется до достижения условия п. 1.

3. По достижению условия п.1, кусочки жгута помещают в заранее взвешенные бюксы (из расчета 15–20 г в каждый бюкс) и определяют влажность на границе пластичности по методике, изложенной в п. 9.7. Расхождение результатов не должно превышать 2%. Данные занести в таблицу (табл. 9.7).

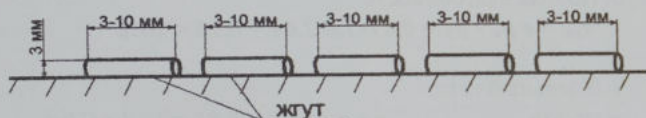


Рис. 9.11. Деление грунтового жгута на кусочки

**Пример 9.15.** Для связного грунта опытным путем определены значения:  $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$ ,  $\rho_s = 2,69 \text{ т/м}^3$ ,  $w = 16\%$ ,  $w_L = 32\%$ ,  $w_p = 19\%$ . Вычислить расчетным путем другие физические характеристики, определить классификационные показатели, установить полное наименование грунта.

**Решение:**

1. Число пластичности  $I_p = w_L - w_p = 32 - 19 = 13\% = 0,13$   
 грунт – суглинок, т.к.  $0,07 < I_p \leq 0,17$  (табл. 2.12)

2. Показатель текучести  
 $I_L = (w - w_p) / (w_L - w_p) = (16 - 19) / 0,13 < 0$   
 суглинок твердый, т.к.  $I_L < 0$ . (табл. 2.15)

3. Плотность сухого грунта  
 $\rho_d = \rho / (1 + w) = 1,84 / (1 + 0,16) = 1,59 \text{ т/м}^3$



4. Пористость

$$n = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s = (2,69 - 1,59) / 2,69 = 0,41 = 41\%$$

5. Коэффициент пористости

$$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d = (2,69 - 1,59) / 1,59 = 0,69$$

6. Степень влажности

$$S_r = w \rho_s / e \rho_w = (2,69 \times 0,16) / (0,69 \times 1,0) = 0,62$$

7. Объемная влажность

$$w_v = w \rho_d = 16 \times 1,59 = 25,44 \% = 0,254$$

8. Полная влагоемкость

$$w_{sat} = e \rho_w / \rho_s = 0,69 \times 1,0 / 2,69 = 0,26 = 26\%.$$

9. Удельный вес:

- грунта  $\gamma = \rho g = 1,84 \times 9,81 = 18,1 \text{ кН/м}^3$

- частиц грунта  $\gamma_s = \rho_s g = 2,69 \times 9,81 = 26,4 \text{ кН/м}^3$

- сухого грунта  $\gamma_d = \rho_d g = 1,59 \times 9,81 = 15,6 \text{ кН/м}^3$

- воды  $\gamma_w = \rho_w g = 1,0 \times 9,81 = 9,81 \text{ кН/м}^3$

10. Удельный вес грунта во взвешенном состоянии

$$\gamma_{sb} = (\gamma_s - \gamma_w) / (1 + e) = (26,4 - 9,81) / (1 + 0,69) = 9,82 \text{ кН/м}^3$$

11. Удельный вес грунта при полном водонасыщении

$$\gamma_{sat} = \gamma_d (1 + w_{sat}) = 15,6 (1 + 0,26) = 19,66 \text{ кН/м}^3$$

12. Полное наименование грунта: суглинок твердый.

### 9.11. Определение гранулометрического состава ситовым методом (ГОСТ 12536-79).

Основным методом определения гранулометрического состава песчаных грунтов является ситовой метод. Песок с помощью специального набора сит рассеивают на отдельные фракции. После этого определяют массу и процентное содержание каждой фракции в грунте.

**Необходимые оборудования:** набор стандартных сит; технические весы; фарфоровая ступка с резиновым наконечником; фарфоровые чашечки, тигли или бюксы; ложка или совок; лист бумаги;

#### **Подготовка грунта:**

Пробу грунта определенной массы доводят до воздушно-сухого состояния, для чего рассыпают тонким слоем на листе бумаги и просушивают на воздухе в течение 1—2 суток. Масса средней пробы для определения гранулометрического состава ситовым методом должна составлять не менее: 100г — для мелко- и среднезернистых песков; 400г — для крупных и гравелистых песков; 4000г — для крупнообломочных грунтов. Среднюю пробу грунта отбирают квартованием. Для этого породу тщательно перемешивают, рассыпают тонким слоем и делят при помощи шпателя или обратным концом ложки двумя взаимно перпендикулярными линиями на четыре равные части (квадраты); два противоположных квадрата удаляют, а два других оставляют в качестве сокращенной пробы. Таким образом, поступают до тех пор, пока не останется необходимая для анализа масса пробы.

#### **Методика и последовательность проведения опыта:**

1. Пробу грунта взвешивают на технических весах и определяют общую массу ( $m_1$ ). Для упрощения и удобства расчета желательно, чтобы общая масса пробы была равна целым граммам, хотя это необязательно.

2. Взвешенную породу помещают в колонну сит и осторожно встряхивают до тех пор, пока не будет достигнута полная сортировка частиц породы в ситах на фракции. Для проверки

чистоты сортировки поступают следующим образом. Берут сито из колонны с отсортированной фракцией и ведут просеивание на листе бумаги. Если отсеивание наблюдается, то отделение частиц данной фракции произошло недостаточно. Взятое сито обратно ставят в колонну сит и продолжают сортировку, а зерна породы, просеянные при проверке на лист бумаги, всыпают в сито нижележащей фракции. Проверку следует делать главным образом для мелких фракций, начиная с 2 мм. Частицы мельче 0,1 мм попадут в поддон.

3. Содержимое каждого сита в отдельности и поддона высыпают в заранее взвешенные чашки ( $m_2$ ) и чашки с грунтом взвешивают ( $m_3$ ). После вычитания массы чашек находят массу фракций (частиц) грунта на каждом сите ( $m_i$ ).

Для самопроверки суммируют массу всех фракций. Расхождение между общей массой пробы ( $m_1$ ) и суммой масс всех фракций ( $\Sigma m_i$ ) более 1% не допускается. Далее, содержание каждой фракции выражают в процентах к общей массе пробы.

4. Масса фракций ( $m_i$ ) определяются как  $m_i = m_3 - m_2$ ;

5. Содержание фракции в грунте ( $x_i$ ), % определяется по выражению

$$x_i = m_i \cdot 100 / m_1 ; \quad (9.3)$$

6. По табл. 2.11 определяют вид песчаного грунта.

7. Результаты опыта заносят в журнал (табл. 9.8).

Таблица 9.8

Показатели	Фракции грунта, мм							
	> 10	10 - 5	5 - 2	2 - 1	1 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,1	< 0,1
$m_2$								
$m_3$								
$m_i$								
$x_i$ , %								

По данным таблицы 9.8 строится кривая гранулометрического (зернового) состава песчаного грунта в полулогарифмическом масштабе. Степень неоднородности гранулометрического состава  $C_u$  определяют как (см. п. 2.2)

$$C_u = d_{60} / d_{10};$$

где:  $d_{60}$ ,  $d_{10}$  – диаметр частиц, мм, меньше которых в грунте содержатся соответственно 60% и 10% (по массе) частиц.

**Пример 9.16.** Для песчаного грунта проведен ситовой анализ и опытным путем определены значения  $\rho$ ,  $\rho_s$ ,  $w$ , которые представлены в таблице 9.9. Требуется определить классификационные показатели, вычислить расчетным путем другие физические характеристики и установить полное наименование песчаного грунта. Построить кривую гранулометрического состава и определить степень неоднородности песка.

Таблица 9.9

Плотности, т/м <sup>3</sup>		Влаж- ность $w$ , %	Содержание, %, частиц размером, мм				
грунта $\rho$	частиц $\rho_s$		$\geq 2,0$	2,0 – 0,5	0,5 – 0,25	0,25 – 0,1	$< 0,1$
1,90	2,68	14,6	14,6	23,7	20,3	26,5	14,6

### Решение:

1. По табл. 2.11 находим, что по гранулометрическому составу **песок – средней крупности**, т. к. масса частиц крупнее 0,25 мм составляет 58,6%, что более 50 %.

2. Плотность сухого грунта

$$\rho_d = 1,90 / (1 + 0,146) = 1,66 \text{ т/м}^3;$$

3. Пористость грунта

$$n = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s = (2,68 - 1,66) / 2,68 = 0,38 = 38\%;$$



4. Коэффициент пористости  $e = (2,68 - 1,66) / 1,66 = 0,61$   
по коэффициенту пористости песок **средней плотности**,  
так как  $0,55 \leq e \leq 0,70$  (табл. 2.17).
5. Степень влажности  $S_r = (2,68 \times 0,146) / (0,61 \times 1,0) = 0,64$   
по степени влажности песок **влажный**, т. к.  $0,5 < S_r \leq 0,8$ .
6. Объемная влажность  $w_v = 14,6 \times 1,66 = 24,23 \% = 0,242$
7. Полная влагоемкость  $w_{sat} = 0,61 \times 1,0 / 2,68 = 0,23 = 23\%$
8. Удельный вес:
 

- грунта	$\gamma = \rho g = 1,90 \times 9,81 = 18,64 \text{ кН/м}^3$
- частиц грунта	$\gamma_s = \rho_s g = 2,68 \times 9,81 = 26,29 \text{ кН/м}^3$
- сухого грунта	$\gamma_d = \rho_d g = 1,66 \times 9,81 = 16,28 \text{ кН/м}^3$
9. Удельный вес грунта во взвешенном состоянии  
 $\gamma_{sb} = (26,29 - 9,81) / (1 + 0,61) = 10,23 \text{ кН/м}^3$
10. Удельный вес грунта при полном водонасыщении  
 $\gamma_{sat} = \gamma_d (1 + w_{sat}) = 16,28 (1 + 0,23) = 20,02 \text{ кН/м}^3$
11. Полное наименование песка: **песок средней крупности, средней плотности, влажный**.
12. Строим кривую зернового состава песчаного грунта (рис.9.12)

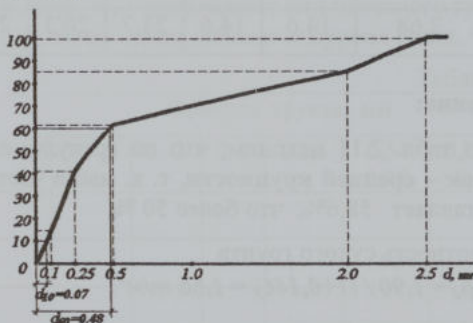


Рис. 9.12. Кривая зернового состава песчаного грунта

13. Определяем степень неоднородности песчаного грунта.

Как видно из графика,  $d_{60} = 0,48$ ;  $d_{10} = 0,07$ ;

$$C_u = d_{60} / d_{10} = 0,48 / 0,07 = 6,85;$$

Следовательно, песок неоднородный, так как  $C_u > 3$ .

### 9.12. Плотность сложения песчаного грунта

**Пример 9.17.** Песок средней крупности (по примеру 9.16) в условиях естественного залегания имеет плотность  $\rho = 1,78 \text{ г/см}^3$ , влажность  $w = 17,6\%$ . Плотность частиц песка равна  $\rho_s = 2,68 \text{ г/см}^3$ . Лабораторными опытами установлены значения плотности скелета песка  $\rho_d$  в самом рыхлом и самом плотном состояниях:  $\rho_{dmax} = 1,69 \text{ г/см}^3$ ;  $\rho_{dmin} = 1,46 \text{ г/см}^3$ . Определить относительную плотность песка и установить его состояние в условиях естественного залегания.

**Решение:**

1. для условий природного залегания находим плотность сухого грунта  $\rho_d$  и коэффициент пористости  $e$ ;

$$\rho_d = \rho / (1 + w) = 1,78 / (1 + 0,176) = 1,51 \text{ г/см}^3$$

$$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d = (2,68 - 1,51) / 1,51 = 0,77;$$

- 2) определяем коэффициенты пористости песка для самого рыхлого и самого плотного состояния:

$$\text{- для самого рыхлого } e_{max} = (2,68 - 1,46) / 1,46 = 0,84$$

$$\text{- для самого плотного } e_{min} = (2,68 - 1,69) / 1,69 = 0,59$$

- 3) Определяем индекс плотности  $I_D$  по формуле 5.17

$$I_D = (e_{max} - e) / (e_{max} - e_{min}) = (0,84 - 0,77) / (0,84 - 0,59) = 0,28$$

По индексу плотности  $I_D$  исследуемый грунт в условиях естественного залегания находится в рыхлом состоянии, так как  $0 \leq I_D \leq 0,33$ .

### 9.13. Определение расчетного сопротивления грунтов основания по СНиП

Расчетное сопротивление  $R_0$  грунтов основания, которое используется для предварительного определения размеров фундаментов приведено в СНиП 2.02.01-83 (табл.1-5). Приведем эти таблицы для крупнообломочных, песчаных и пылевато-глинистых грунтов (табл. 9.10, 9.11, и 9.12).

Таблица 9.10

Крупнообломочные грунты	Значение $R_0$ , кПа
Галечниковые (щебенистые): с песчаным заполнителем	600
с пылевато-глинистым заполнителем при показателе текучести: $I_L \leq 0,5$	450
$0,5 < I_L \leq 0,75$	400
Гравийные (дресвяные): с песчаным заполнителем	500
с пылевато-глинистым заполнителем при показателе текучести: $I_L \leq 0,5$	400
$0,5 < I_L \leq 0,75$	350

Таблица 9.11

Пески	Значения $R_0$ , кПа ( $\text{кгс/см}^2$ )	
	плотные	средней плотности
Крупные	600	500
Средней крупности	500	400
Мелкие:		
маловлажные	400	300
влажные и насыщенные водой	300	200
Пылеватые:		
маловлажные	300	250
влажные	200	150
насыщенные водой	150	100

Таблица 9.12

Пылевато-глинистые грунты	Коэффициент пористости $e$	Значения $R_0$ , кПа, при	
		$I_L = 0$	$I_L = 1$
Супеси	0,5	300	300
	0,7	250	200
Суглинки	0,5	300	250
	0,7	250	180
	1,0	200	100
Глины	0,5	600	400
	0,6	500	300
	0,8	300	200
	1,1	250	100

Расчетные сопротивления крупнообломочных грунтов (табл. 9.10) зависят от их вида, а также вида и состояния заполнителя. Расчетные сопротивления песчаных грунтов (табл. 9.11) зависят от их вида, плотности сложения и степени влажности. Расчетные сопротивления пылевато-глинистых (непроясочных) грунтов (табл. 9.12) зависят от коэффициента пористости  $e$  и показателя текучести  $I_L$ .

Для пылевато-глинистых грунтов с промежуточными значениями  $e$ ,  $I_L$  и  $S_r$ , расчетное сопротивление грунтов  $R_0$  определяется по интерполяции. В пылевато-глинистых грунтах (см. табл. 9.12) при промежуточных значениях  $e$  и  $I_L$  проводится двойная интерполяция по формуле

$$R_{0(e;I_L)} = [(e_2 - e) / (e_2 - e_1)] \times \{(1 - I_L) R_{0(1;0)} + I_L R_{0(1;1)}\} + [(e - e_1) / (e_2 - e_1)] \times \{(1 - I_L) R_{0(2;0)} + I_L R_{0(2;1)}\}; \quad (9.4)$$

где:  $e_1$  и  $e_2$  — соседние значения коэффициента пористости, между которыми находится значение  $e$  данного грунта;

$R_{0(1;0)}$ ,  $R_{0(1;1)}$  — значения  $R_0$  соответственно при  $e_1$  и  $e_2$ , которые соответствуют значениям  $I_L = 0$  и  $I_L = 1,0$ ;

$R_{0(2;0)}$ ,  $R_{0(2;1)}$  — тоже при  $e_2$ .



Если значение коэффициента пористости совпадает с табличными значениями  $e$ , то расчетное сопротивление  $R_0$  определяется по формуле

$$R_{0(II)} = R_{0(I;0)} - I_L (R_{0(I;0)} - R_{0(I;1)}); \quad (9.5)$$

Значения  $R_0$ , приведенные в СНиП 2.02.01-83\*, относятся к фундаментам, имеющим ширину  $b_0=1\text{ м}$  и глубину заложения  $d_0=2\text{ м}$ . При использовании значений  $R_0$  для окончательного назначения размеров фундаментов расчетное сопротивление грунта основания  $R$  определяется по формулам:

при  $d \leq 2\text{ м}$  (200 см)

$$R = R_0 [1 + k_1(b - b_0) / b_0] \times (d + d_0) / 2d_0; \quad (9.6)$$

при  $d > 2\text{ м}$  (200 см)

$$R = R_0 [1 + k_1(b - b_0) / b_0] + k_2\gamma'_{II} (d - d_0), \quad (9.7)$$

где:  $b$  и  $d$  - соответственно ширина и глубина заложения фундамента, м (см);

$\gamma'_{II}$  - расчетное значение удельного веса грунтов, расположенных выше подошвы фундамента,  $\text{кН/м}^3$ ;

$k_1$  - коэффициент, принимаемый для оснований, сложенных крупнообломочными и песчаными грунтами, кроме пылеватых,  $k_1=0,125$ , пылеватыми песками, супесями суглинками и глинами  $k_1 = 0,05$ ;

$k_2$  - коэффициент, принимаемый для оснований, сложенных крупнообломочными и песчаными грунтами,  $k_2 = 0,25$ , супесями и суглинками  $k_2=0,2$ ; глинами -  $k_2=0,15$ .

**Примечание.** Для сооружений с подвалом шириной  $B = 20\text{ м}$  и глубиной  $d_b \geq 2\text{ м}$  учитываемая в расчете глубина заложения наружных и внутренних фундаментов принимается равной:  $d = d_1 + 2\text{ м}$  (здесь  $d_1$  - приведенная глубина заложения фундамента, определяемая по формуле (8) СНиП 2.02.01-83\*). При  $B > 20\text{ м}$  принимается  $d = d_1$ .

**Пример 9.18.** Требуется определить расчетное сопротивление  $R_o$  суглинка твердой консистенции ( $I_L < 0$ ) с коэффициентом пористости  $e = 0,5$ .

**Решение:** Так как показатель текучести имеет отрицательное значение, принимаем  $I_L = 0$ . По таблице 9.12 для суглинка значения  $I_L$  и  $e$  совпадают с их табличными значениями. Следовательно, расчетное сопротивление равно  $R_o = 300 \text{ кПа}$  ( $3 \text{ кгс/см}^2$ ).

**Пример 9.19.** Требуется определить расчетное сопротивление  $R_o$  глины тугопластичной консистенции ( $I_L = 0,35$ ) с коэффициентом пористости  $e = 0,8$ .

**Решение:** Так как значение коэффициента пористости совпадает с его табличным значением, расчетное сопротивление грунта находим, интерполируя по формуле 9.5. Принимая по таблице 9.12 значения  $R_{o(1;0)} = 300 \text{ кПа}$ ;  $R_{o(1;1)} = 200 \text{ кПа}$  находим

$$R_{o(II)} = 300 - 0,35 (300 - 200) = 265 \text{ кПа}.$$

**Пример 9.20.** Требуется определить расчетное сопротивление  $R_o$  супеси с показателем текучести  $I_L = 0,4$  и коэффициентом пористости  $e = 0,62$ .

**Решение:** Так как значения коэффициента пористости  $e$  и показателя текучести  $I_L$  не совпадают с их табличными значениями, расчетное сопротивление грунта находим путем двойной интерполяции по формуле 9.4. По таблице 9.12 при соседних значениях  $e_L = 0,5$  и  $e_L = 0,7$  для супеси находим:

$$R_{o(1;0)} = 300 \text{ кПа}, R_{o(1;1)} = 300 \text{ кПа}, R_{o(2;0)} = 250 \text{ кПа}, \\ R_{o(2;1)} = 200 \text{ кПа}.$$

Таким образом, расчетное сопротивление супеси с  $I_L = 0,4$  и  $e = 0,62$  будет равно:

$$R_{o(0,62;0,4)} = [(0,7 - 0,62)/(0,7 - 0,5)]\{(1 - 0,4)300 + 0,4 \times 300\} + \\ + [(0,62 - 0,5)/(0,7 - 0,5)]\{(1 - 0,4)250 + 0,4 \times 200\} = \\ = 0,4 [180 + 120] + 0,6 [150 + 80] = 258 \text{ кПа}.$$

**Пример 9.21.** Требуется определить расчетное сопротивление грунта основания для окончательного назначения размеров фундамента. Грунты основания – пески мелкие, средней плотности, маловлажные. Ширина подошвы фундамента  $b = 1,5 \text{ м}$ , глубина заложения фундамента  $d = 1,7 \text{ м}$ .

**Решение:** Так как глубина заложения фундамента  $d \leq 2 \text{ м}$ , расчетное сопротивление грунта основания определяем по формуле 9.5. Для этого вначале определяем табличное значение расчетного сопротивления грунта основания  $R_o$ . По таблице 9.11 для песка мелкого, средней плотности, маловлажного находим расчетное сопротивление, что составляет  $R_o = 300 \text{ кПа}$ . Теперь по формуле 9.6 находим расчетное сопротивление грунта основания  $R$  для фундамента с шириной подошвы  $b = 1,5 \text{ м}$  и глубиной заложения  $d = 1,7 \text{ м}$ . Принимая  $k_1 = 0,125$ ,  $b_0 = 1 \text{ м}$ ,  $d_0 = 2 \text{ м}$  находим

$$R = 300[1 + 0,125(1,5 - 1,0) / 1,0] \times (1,5 + 1,0) / 2 \times 1,0 = 398 \text{ кПа};$$

**Пример 9.22.** Требуется определить расчетное сопротивление грунта основания для окончательного назначения размеров фундамента. Грунты основания – супеси с показателем текучести  $I_L = 0,4$  и коэффициентом пористости  $e = 0,62$ . Ширина подошвы фундамента  $b = 1,6 \text{ м}$ , глубина заложения фундамента  $d = 2,4 \text{ м}$ . Плотность грунтов обратной засыпки равна  $\rho_{bf} = 1,90 \text{ т/м}^3$ .

**Решение:** Так как глубина заложения фундамента  $d > 2 \text{ м}$ , расчетное сопротивление грунта основания определяем по формуле 9.6. Для этого вначале определяем табличное значение расчетного сопротивления грунта основания  $R_o$ . Так как значения коэффициента пористости  $e$  и показателя текучести  $I_L$  не совпадают с их табличными значениями, расчетное сопротивление грунта находим путем двойной интерполяции по формуле 9.4. Учитывая, что грунты основания и их характеристики такие же, что и в примере 9.20 (супеси с  $I_L = 0,4$  и  $e = 0,62$ ), воспользуемся результатом готового решения. Итак,  $R_{o(0,62;0,4)} = 258 \text{ кПа}$ .

Теперь по формуле 9.7 находим расчетное сопротивление грунта основания  $R$  для фундамента с шириной подошвы  $b = 1,6\text{ м}$  и глубиной заложения  $d = 2,4\text{ м}$ . Принимая коэффициент  $k_1 = 0,05$ ,  $k_2 = 0,2$ ,  $b_0 = 1\text{ м}$ ,  $d_0 = 2\text{ м}$ ,  $\gamma'_{II} = 1,90 \times 9,81 = 18,64 \text{ кН/м}^2$ , находим

$$R = 258[1 + 0,05 (1,6 - 1,0) / 1,0] + 0,2 \times 18,64 (2,4 - 2,0) = 267 \text{ кПа};$$

#### 9.14. Определение оптимальной влажности и максимальной плотности грунта (ГОСТ 22733-2002)

ГОСТ 22733-2002 распространяется на природные и техногенные дисперсные грунты (песчаные и пылевато-глинистые) и устанавливает метод лабораторного определения оптимальной влажности и максимальной плотности грунта. Результаты испытания представляется в виде графика стандартного уплотнения -  $\rho_d = f(w)$ . Число последовательных испытаний грунта при увеличении его влажности должно быть не менее пяти-шести, а также достаточным для выявления максимального значения плотности сухого грунта по графику стандартного уплотнения.

##### Необходимое оборудование и инструменты:

прибор стандартного уплотнения (см. рис. 5.5); весы по ГОСТ 29329; весы лабораторные на 0,2-1,0 кг по ГОСТ 24104; линейка металлическая длиной не менее 300 мм по ГОСТ 427; цилиндры мерные объемом 100 мл и 50 мл по ГОСТ 1770; чашки металлические вместимостью 5 л; бюксы; ступка фарфоровая с пестиком по ГОСТ 9147; шкаф сушильный; набор сит с диаметром отверстий 20, 10 и 5 мм; эксикатор Э-250 по ГОСТ 23932; шпатель металлический; нож лабораторный с прямым лезвием длиной не менее 150 мм.



**Подготовка пробы грунта.** Необходимая масса образца грунта нарушенного сложения при естественной влажности должна быть не менее 10 кг при наличии в грунте частиц крупнее 10мм и не менее 6 кг — при отсутствии частиц крупнее 10мм. Представленный для испытания образец грунта нарушенного сложения высушивают при комнатной температуре или в сушильном шкафу до воздушно-сухого состояния. Размельчают грунт (без дробления частиц) в растирочном устройстве или в фарфоровой ступке.

Грунт просеивают через сита с отверстиями диаметром 20мм и 10мм. При этом вся масса грунта должна пройти через сито с отверстиями диаметром 20 мм. Взвешивают отсеянные крупные частицы. Если масса частиц грунта крупнее 10 мм составляет 5 % и более, дальнейшее испытание проводят с пробой грунта, прошедшего через сито 10 мм. Если же масса частиц грунта крупнее 10мм составляет менее 5 %, производят дальнейшее просеивание грунта через сито с отверстиями диаметром 5мм и определяют содержание частиц крупнее 5мм. В этом случае дальнейшее испытание проводят с пробой грунта, прошедшего через сито 5мм. Из грунта, прошедшего через сито (10 или 5мм), отбирают пробы для определения его влажности в воздушно-сухом состоянии по ГОСТ 5180-84.

Из просеянного грунта методом квартования отбирают пробы (5-6) массой около 2,5кг каждая. Допускается проводить весь цикл испытаний с использованием одной отобранной пробы. Помещают отобранную пробу в чашку, добавляют воду для доувлажнения до требуемой влажности. Необходимое количество воды  $Q$ , г, для доувлажнения пробы до необходимой влажности определяют по формуле

$$Q = m_n (w_l - w_s) / (1 + w_s); \quad (9.8)$$

где:  $m_n$  - масса отобранной пробы, г;

$w_l$  - требуемая влажность грунта,

$w_s$  - влажность пробы в воздушно-сухом состоянии.

После добавления необходимого количества воды пробу грунта тщательно перемешивают до равномерного распределения влажности. Далее переносят пробу грунта из чашки в эксикатор или плотно закрываемый сосуд (можно и в целлофановый пакет). Таким способом подготовят все пробы с равномерным повышением влажности примерно на 2% и выдерживают их при комнатной температуре не менее 2 ч для несвязных грунтов и не менее 12 ч — для связных грунтов (рис. 9.13 а).

### Методика проведение испытания:

1. Переносят пробу из эксикатора в чашку, тщательно перемешивают и отбирают пробы для определения влажности по ГОСТ 5180-84.

2. Взвешивают цилиндр прибора (см. рис.5.5, поз.2) вместе с основанием (поз. 1) ( $m_1$ ).

3. Заполняют цилиндр грунтом примерно на одну треть его высоты (слой толщиной примерно 5-6см) и слегка уплотняют рукой его поверхность. Далее, производят уплотнение 40 ударами груза по наковальне с высоты 30см, зафиксированной на направляющей штанге (рис.9.13 б). Аналогичную операцию проводят с каждым из трех слоев грунта, последовательно загружаемых в форму. Перед загрузкой второго и третьего слоев поверхность предыдущего уплотненного слоя разрыхляют ножом на глубину 1—2 мм. Перед укладкой третьего слоя на форму устанавливают (надевают) насадку (см. рис. 5.5, поз.4).

4. После уплотнения третьего слоя снимают насадку и срезают выступающую часть грунта заподлицо с торцом формы. Взвешивают цилиндр с основанием и уплотненным грунтом ( $m_2$ ).

5. Вычисляют плотность грунта  $\rho$  по формуле

$$\rho = (m_2 - m_1) / V_{zp};$$

где:  $V_{zp}$  - объем грунта, равный вместимости цилиндра, см<sup>3</sup>. В приборе СоюзДорНИИ объем цилиндра равен 1000 см<sup>3</sup> (1000 мл).

6. Извлекают из цилиндра уплотненный грунт и из верхней, средней и нижней частей отбирают пробы для контрольного определения влажности.

7. Повторяя п.п. 1- 6 проводят второе и последующие испытания всех проб грунта. В случае необходимости, для повторного использования уже испытанного грунта, извлеченный из цилиндра грунт присоединяют к оставшейся в чашке части пробы, измельчают и перемешивают. Добавляя расчетное количество воды, грунт тщательно перемешивают, накрывают влажной тканью и выдерживают не менее 15 мин для несвязных и не менее 30 мин — для связных грунтов.

Испытание следует считать законченным, когда с повышением влажности пробы при последующих двух испытаниях происходит последовательное уменьшение значений массы и плотности уплотняемого образца грунта, а также когда при ударах происходит отжатие воды или выделение разжиженного грунта через соединения цилиндра.

После испытания всех проб и определения их влажности, определяют плотность сухого грунта по формуле

$$\rho_{дш} = \rho_i / (1 + w_i);$$

где  $\rho_i$  и  $w_i$  - соответственно плотность и влажность  $i$  пробы.

**Пример 9.23.** Для проведения серий испытаний методом стандартного уплотнения подготовлены 6 проб связного грунта весом по 2,5кг каждая. Влажность пробы в воздушно-сухом состоянии равна 1,7%. Требуется определить количество добавляемой воды для достижения влажности проб соответственно 12,0%, 14,0%, 16,0%, 18,0%, 20,0 % и 22,0%.

**Решение.** По выражению 9.8 определяем количество воды для достижения влажности пробы грунта соответственно 12,0 %, 14,0 % и т.д. Вес пробы - 2,5кг (2500г).

$$Q_{12\%} = 2500 (0,12 - 0,017) / (1 + 0,017) = 253 \text{ мл (г)}$$

$$Q_{14\%} = 2500 (0,14 - 0,017) / (1 + 0,017) = 302 \text{ мл (г)}$$

*и т. д. для каждой пробы.*

**Пример 9.24.** По результатам серий испытаний стандартного уплотнения для двух видов грунта получены плотности сухого грунта при различных значениях влажности (табл.9.13). Построить график стандартного уплотнения  $\rho_d = f(w)$ , определить значения  $\rho_{dmax}$  и установить интервалы  $w_{opt}$  при коэффициенте уплотнения 0,98 и 0,95.

Таблица 9.13

грунт-1		грунт-2	
влажность $w_l$ , %	плотность сухого грунта, $\rho_{dl}$ , г/см <sup>3</sup>	влажность $w_l$ , %	плотность сухого грунта, $\rho_{dl}$ , г/см <sup>3</sup>
14,3	1,67	13,4	1,66
15,2	1,71	15,0	1,71
16,1	1,77	16,0	1,75
17,1	1,80	17,3	1,77
18,0	1,78	18,0	1,79
19,1	1,74	19,1	1,73
19,8	1,70	20,3	1,64



а



б

Рис. 9.13. Подготовка грунта (а) и проведение испытания (б)

### Решение:

1. Строим график зависимости плотности сухого грунта от влажности (рис.9.14). Как видно из графика, оптимальная влажность данного грунта равна  $w_{opt} = 17,4\%$ , при которой достигнута  $\rho_{dmax} = 1,79$  г/см<sup>3</sup>.

2. Интервалы оптимальной влажности ( $w_{opt}$ ) при коэффициентах уплотнения  $K_{упл} = 0,98$  и  $K_{упл} = 0,95$  равны соответственно (15,8–18,8%) и (14,8–19,6%).



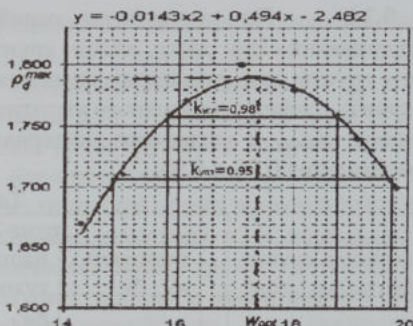


Рис. 9.14. График зависимости  $\rho_d = f(w)$  для грунта 1

### 9.15. Определение размокаемости грунта в приборе ПРГ-1

**Размокаемость** — способность пылевато-глинистых грунтов при впитывании воды терять связность, разлагаться и превращаться в рыхлую массу. Размокаемость зависит от гранулометрического, минералогического и химического состава грунта, характера и водоустойчивости структурных связей. Размокаемость характеризуется временем, характером и скоростью распада образца грунта. Размокаемость, как один из основных показателей водоустойчивости связных грунтов, используется при оценке устойчивости склонов и откосов, насыпей земляного полотна дорог, стен котлованов и в других инженерно-строительных задачах.

Характер и скорость размокания у разных грунтов разное. Одни грунты распадаются сначала на более или менее крупные куски или комки, другие сразу же распадаются на мелкие частицы и проваливаются через сетку. Некоторые грунты вначале набухают, затем разваливаются на крупные комки. Образцы водоустойчивых пород в воде сохраняют свою форму и объем без изменений продолжительное время. Все изменения образцов грунтов, наблюдающиеся в процессе испытания на размокание, фиксируются в журнале через определенные промежутки времени. Поэтому в

неводоустойчивых дисперсных грунтах изменения (числовые данные) записываются через каждые 0,5-1,0 мин., а в водоустойчивых горных породах – через каждые 0,5-1,0 час.

Для испытания грунтов на размокание применяют воду близкую по составу к той, воздействию которой грунт будет подвергаться в природных условиях.

**Приборы и оборудования:** прибор ПРГ-1; секундомер; режущее кольцо (внутренний диаметр и высота по 30мм) с насадкой; нож; журнал (таблица) для записи наблюдений.

**Описание прибора.** Прибор ПРГ-1 предназначен для определения скорости и характера размокаемости грунтов ненарушенного сложения при естественной влажности в лабораторных условиях (рис.9.15). Корпус 1 изготовлен из прозрачного органического стекла, на котором нанесена равномерная шкала с делениями от 0 до 25. На две опоры 2 устанавливается над корпусом свободно качающаяся ось 3, на которой гайкой 4 закреплена стрелка 5 и специальный, скобообразный рычаг 6. Правая часть рычага выполнена в виде дуги окружности. Левая часть – в виде эвольвенты, эволюта которой совпадает с центром оси качания рычага. Такая конструкция неравноплечевого рычага обеспечивает автоматическое уравнивание системы и применение равномерной шкалы. К дуге окружности рычага на гибкой связи 7 подвешена сетка 8 с квадратными отверстиями 10х10 мм, на которую устанавливают образец грунта. Эвольвентную часть рычага облегчает также гибкая связь, на конце которой укреплен противовес 9.

### **Подготовка грунта.**

1. При определении размокаемости грунта ненарушенного сложения из монолита или массива связного грунта отбирают образец с помощью режущего кольца и определяют плотность. Одновременно отбирают пробу для определения естественной влажности весовым методом. Далее, по данным плотности и влажности определяют плотность сухого грунта (плотность скелета).

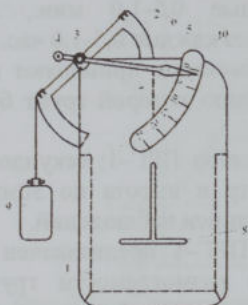


Рис.9.15. Прибор ПРГ-1 для определения размокаемости грунтов. 1- корпус, 2- опора, 3- качающаяся ось, 4- гайка, 5- стрелка, 6- рычаг, 7- гибкая связь, 8- сетка, 9- противовес, 10- шкала.

2. При определении размокаемости грунта нарушенного сложения грунт в воздушно-сухом состоянии растирают и просеивают через сито с отверстиями 1мм. Из просеянного грунта отбирают пробу и, перемещая с водой, готовят густую пасту, которая при раскатывании не должна прилипать к рукам. Приготовленную пасту формируют в виде монолита так, чтобы в ней не образовались воздушные полости, т.е. не оставались пустоты. Из этого монолита вырезают образец режущим кольцом и определяют плотность и влажность пасты.

3. Из режущих колец (п. 1 и 2) извлекают образцы грунта и их испытывают на размокаемость.

### Методика проведения опыта.

1. В корпус прибора наливают воду высотой примерно 8см и устанавливают стрелку в нулевое положение.

2. Приподнимая сетку, ставят ее на край стенки корпуса прибора, осторожно устанавливают на ней образец грунта. Затем, придерживая рычаг, плавно погружают сетку с образцом в воду и записывают первоначальную числовую отметку  $H_0$ .

3. Все изменения, происходящие с грунтом, как количественные, так и качественные, заносят в журнал (табл.9.14). Цифровые отметки  $H$  фиксируют через определенные промежутки времени: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 и 4,0 мин и т.д. до полного распада образца грунта. Опыт считается законченным, когда грунт полностью провалится сквозь сетку на дно корпуса, а стрелка займет нулевое положение.

4. Процент распада определяется по формуле

$$P = (H_0 - H_i) / H_0, \% \quad (9.9)$$

где:  $H_0$  – начальная цифровая отметка, равная 25;

$H_i$  –  $i$  – ая цифровая отметка в процессе размокания

5. По данным опыта, откладывая по оси абсцисс время  $t$ , по оси ординат – цифровые отметки  $H$  или процент распада  $P$ , строится график зависимости величины распада от времени (рис.9.16).

**Пример 9. 25.** При испытании образца лессового грунта на размокаемость получены следующие цифровые данные (табл. 9.14):

Таблица 9.14

№ № п/п	Время с начала опыта, мин	Цифровые отметки, $H$	Процент распада, $P$ , %	Характер размокания грунта
1	2	3	4	5
0	0	$H_0 = 22$	0	распад на мелкие частицы
1	0,5	$H_1 = 20$	10	
2	1,0	$H_2 = 17$	23	
3	1,5	$H_3 = 13$	41	
4	2,0	$H_4 = 8$	64	
5	3,0	$H_5 = 2$	91	
6	4,0	$H_6 = 0$	100	

**Выводы:**

- время полного распада:

$t = 4,0$  мин.

- характер распада:

распад на мелкие частицы



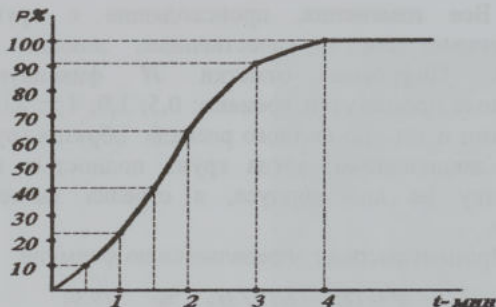


Рис. 9.16. График зависимости величины распада от времени

### 9.16. Определение коэффициента фильтрации песка в универсальной трубке КФ-00 М

Грунт является пористым материалом, способным пропускать сквозь себя воду. Такое свойство грунта называется водопроницаемостью. В песчаных грунтах, поры которых относительно крупные, фильтрация происходит быстрее, чем в пылевато-глинистых грунтах. Водопроницаемость численно характеризуется коэффициентом фильтрации. Фильтрация воды в грунтах подчиняется закону Дарси.

Расход воды в единицу времени через единицу площади поперечного сечения грунта (скорость фильтрации) прямо пропорционален гидравлическому градиенту. Формула закона Дарси для песчаных грунтов имеет вид

$$v_{\phi} = \kappa_{\phi} \cdot i; \quad (9.10)$$

где:  $v_{\phi}$  – скорость фильтрации, см/с, см/сут., м/сут., м/год.

$\kappa_{\phi}$  – коэффициент фильтрации, см/с, см/сут., м/сут., м/год.

$i$  – гидравлический градиент.

Для пылевато-глинистых грунтов, обладающих вязкостью и пластичностью, зависимость скорости фильтрации от градиента (формула закона Дарси) имеет вид

$$v_{\phi} = \kappa_{\phi} \cdot (i - i_0); \quad (9.11)$$

где  $i_0$  – начальный градиент напора.

Из выражений (9.10) и (9.11) следует, что если в песках вода фильтруется сразу с появлением гидравлического градиента, то в связных грунтах фильтрация начинается после преодоления  $i_0$ , т.е. когда  $i > i_0$ .

Коэффициент фильтрации  $k_f$  — это есть скорость фильтрации при градиенте, равном единице. В расчетах механики грунтов во избежание малых значений коэффициента фильтрации, часто выражают  $k_f$  в см/год, принимая примерно  $1 \text{ см/с} \approx 3 \cdot 10^7 \text{ см/год}$ .

**Приборы и оборудования:** прибор КФ-00М (рис. 9.17), песчаный грунт, секундомер, термометр, поставка для воды.

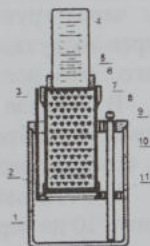
**Описание прибора КФ-00М.** Прибор КФ-00М состоит из фильтрационной трубки и специального винтового телескопического приспособления, позволяющего насыщать грунт и регулировать напор воды, а также корпуса 10 с крышкой 9. Фильтрационная трубка состоит из основного металлического цилиндра 7 (внутренний диаметр 56,5 мм и высота 100 мм) с заостренным краем; поддона 1, надеваемого на нижнюю часть цилиндра и латунной сетки 2, вставляемой в поддон. На верхней части цилиндра устанавливается муфта 5 с латунной сеткой 6 и мерным стеклянным баллоном 4 (мариоттовский сосуд), на одной стороне которого нанесена шкала. Телескопическое приспособление состоит из подставки 11, винта 8, планки 3. На планке 3 нанесены деления напорного градиента от 0 до 1 с ценой деления 0,02.



а



б



в

Рис.9.17. Общий вид, детали и схема прибора КФ-00М

### Методика проведения опыта:

1. Из корпуса прибора КФ-00М (рис.9.17 а) извлечь фильтрационную трубку. Снять с фильтрационной трубки муфту 5 с латунной сеткой 6 и мерным баллоном 4.

2. Наполнить цилиндр 7 песчаным грунтом в рыхлом или плотном состоянии (с укладкой слоев по 1 - 2см и легкой трамбовкой).

3. После заполнения цилиндра грунтом в корпус 10 налить воду и вращением винта 8 поднять подставку 11 до совмещения отметки напорного градиента  $i = 1$  на планке 3 с верхним краем крышки 9.

4. На подставку 11 установить фильтрационную трубку с испытываемым грунтом. Вращением винта 8 медленно погрузить фильтрационную трубку с грунтом в воду до отметки напорного градиента  $i = 0,8$ . В таком положении оставить прибор до момента появления влаги в верхнем торце цилиндра, о чем судят по изменяющемуся цвету грунта.

5. Ставить на грунт латунную сетку 6, надеть на фильтрационную трубку муфту 5 и вращением винта 8 опустить трубку в крайнее нижнее положение.

6. Заполнить мерный баллон 4 водой, зажать отверстие большим пальцем и, быстро опрокинув, вставить в муфту фильтрационную трубку так, чтобы горлышко баллона соприкасалось с латунной сеткой. В таком виде мерный баллон автоматически поддерживает над грунтом уровень воды в 1-2 мм. Как только этот уровень воды вследствие просачивания воды через грунт понизится, в мерный баллон прорывается пузырек воздуха, и соответствующее количество воды вытекает из него. Этим достигается постоянство напорного градиента.

В случае появления в мерном баллоне крупных пузырьков необходимо баллон опустить на 1-2 мм и добиться того, чтобы в него равномерно поднимались мелкие пузырьки.

7. Установить планку 3 на градиент  $i = 0,6$  и долить воду в корпус 10 до верхнего края.

8. Отметить по шкале уровень воды в мерном баллоне, включить секундомер и по истечении определенного времени  $t$

(50–100сек– для песков, 250 – 500 сек – для связных грунтов), заметить второй уровень воды в мерном баллоне 4, что дает возможность определить расход воды  $Q$ , профильтровавшийся через грунт за время  $t$ . Для получения средней величины коэффициента фильтрации повторить замеры расхода воды при различных положениях уровня воды в мерном баллоне.

9. Опустив цилиндр с грунтом в крайнее положение, снять мерный баллон 4, заполнить его водой и вновь вставить в муфту 5.

10. Установить планку 3 на напорный градиент  $i = 0,8$ . Далее поступить согласно п. 8. Так произвести определение для любого напорного градиента. Данные опыта заносить в журнал (табл. 9.15).

Таблица 9.15

№№ п/п	Гради- ент	Время филь- трации	Расход воды	Кэффи- циент фильтрации	Среднее значение
	$i$	$t$	$Q$	$K_{\Phi}$	$K_{\Phi\text{ ср}}$
1	0,6				
2	0,8				
3	1,0				

11. Определить коэффициент фильтрации по формуле

$$K_{\Phi} = Q \cdot 864 / t \cdot F \cdot i; \text{ м/сут} \quad (9.12)$$

где:  $K_{\Phi}$  – коэффициент фильтрации;  $Q$  – расход воды, мл;  
 $F$  – площадь поперечного сечения цилиндра;  
 $t$  – время, сек;  $i$  – напорный градиент;  
 $864$  – переводной коэффициент из см/сек в м/сут.

Примечание: в формуле (9.12) температурная поправка не учтена.



### 9.17. Определение показателей деформируемости грунта методом компрессии в одометре

**Необходимое оборудование:** компрессионный прибор КПр-1, штангенциркуль, линейка, индикаторы часового типа ИЧ-10, часы, нож, образец грунта, фильтровальная бумага.

Компрессионный прибор КПр-1 состоит из рычажного столика и одометра (рис.9.18 а.б).



Рис. 9.18. Компрессионный прибор: а- рычажный столик; б- одометр в сборе; в- основные части одометра

Рычажный столик (см. рис. 9.18 а) состоит из столика с уравнивательными винтами; секторного рычага с подвеской для грузов и неподвижным противовесом; рамы, передающей давление; верхнего коромысла; штока с углублением для шарика; нижнего коромысла; натяжного винта с маховиком.

Давление на образец передается через секторный рычаг, с соотношением малого и большого плеч 1/10. Малым плечом рычага является расстояние от оси рычага до центра поперечного сечения троса, огибающего шкив. Большим плечом рычага является расстояние от оси рычага до центра поперечного сечения троса, огибающего сектор по периферии. Секторный рычаг уравновешен противовесом. Рама, передающая давление, не имеет противовеса и вес ее учитывается при приложении давления. При площади сечения испытуемого образца грунта (площадь сечения кольца), равной  $60 \text{ см}^2$ , давление на грунт будет равно  $p = N/6$ ;  $N$  – вес гирь на

подвеске. Таким образом, для создания давления, равного  $1 \text{ кг/см}^2$ , на подвеску рычага ставится 6 кг груза.

Для создания на грунт давления 0,25 и  $0,5 \text{ кг/см}^2$  с учетом веса рамы на подвеску сначала укладывается груз, равный 1,27 кг, а затем добавляется еще 1,5 кг. Далее ступени нагрузки прикладываются по 3 кг из расчета  $0,5 \text{ кг/см}^2$ .

Одометр (рис. 9.18 в) состоит из следующих основных частей: нижняя обойма с двойным дном; патрубка для замачивания грунта; винт, запирающий отверстие для выхода воздуха; верхнее перфорированное дно нижней обоймы; верхняя обойма; упоры для индикаторов; рабочее режущее кольцо; направляющее кольцо; арретирующая муфта; перфорированный штамп.

На нижней плоскости дна имеется отверстие для фиксатора, обеспечивающего установку одометра в рабочее положение. В центре штампа имеется гнездо для шарика, через который передается вертикальная нагрузка на образец. Направляющее кольцо, ввинчивающееся в верхнюю часть одометра, имеет несколько симметрично расположенных прорезей для возможности поворота с помощью специального ключа.

#### Методика проведения опыта:

1. Для заданного образца грунта определяют значения плотности  $\rho$ , плотности частиц  $\rho_s$ , природной влажности  $w$  и начального коэффициента пористости  $e_0$ .
2. Одометр заполняют грунтом и приводят в рабочее положение. Установят показания индикаторов на «0».
3. Для создания на грунт давления 0,25 и  $0,5 \text{ кг/см}^2$  с учетом веса рамы на подвеску сначала прикладывают груз, равный 1,27 кг, а затем добавляется еще 1,5 кг. Далее ступенями прикладывают нагрузки по 3 кг из расчета  $0,5 \text{ кг/см}^2$ . От каждой ступени давления  $p_i$  по индикатору записывают значения деформации образца после ее условной стабилизации.
4. Данные опыта заносят в таблицу (табл. 9.16). Для каждой ступени нагрузки вычисляют относительные деформации и соответствующие коэффициенты пористости  $e_i$ .

5. Строится компрессионная кривая и для заданного интервала давлений определяют: коэффициенты сжимаемости  $m_0$  и относительной сжимаемости  $m_v$ , модуль деформации  $E_{0к}$  по выражениям (7.2), (7.3), (7.4).

Таблица 9.16

Нагрузка, кг	Давление, кгс/см <sup>2</sup>	Показания индикаторов, мм		Деформация, мм		Коэффициент пористости
		лев.	прав.	абсолютная	относительная	
$N$	$p=N/6$	$S_{\text{л}}$	$S_{\text{п}}$	$S_{\text{ср}}$	$\varepsilon=S_{\text{ср}}/h$	$e_i$
0	0,0					
1,27	0,25					
2,77	0,5					
5,77	1,0					
8,77	1,5					
11,77	2,0					
14,77	2,5					
17,77	3,0					

**Пример 9. 26.** По данным компрессионного испытания (таблица) требуется построить компрессионную кривую и определить показатели деформируемости грунта  $m_0$ ,  $m_v$ ,  $E_{0к}$ .

Давление, кгс/см <sup>2</sup>	Относительная деформация	Коэффициент пористости,
$p$	$\varepsilon=S_{\text{ср}}/h$	$e_i = e_0 - (I + e_0) \varepsilon$
0	0	$e_0 = 0,950$
0,25	0,0015	$e_1 = 0,947$
0,5	0,0046	$e_2 = 0,941$
1,0	0,0072	$e_3 = 0,936$
1,5	0,0092	$e_4 = 0,932$
2,0	0,0108	$e_5 = 0,929$
2,5	0,0118	$e_6 = 0,927$
3,0	0,0123	$e_7 = 0,926$
3,5	0,0124	$e_8 = 0,926$

# Решение.

1. По данным таблицы строим компрессионную кривую.

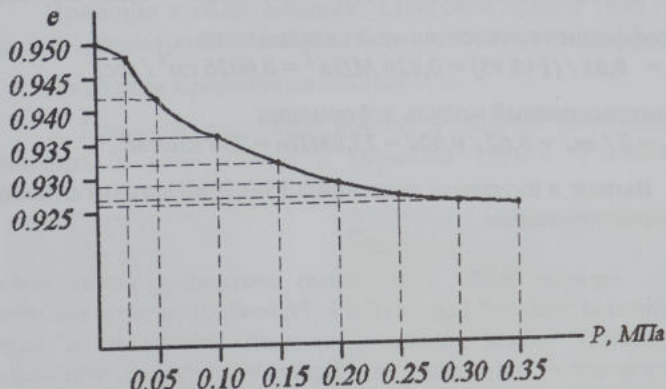


Рис.9.19. Компрессионная кривая

2. Определяем значений коэффициента сжимаемости, коэффициента относительной сжимаемости и компрессионного модуля деформации ( $m_0$ ,  $m_v$  и  $E_{0\kappa}$ ) по формулам (7.2), (7.3), (7.4) для разного участка компрессионной кривой.

**В интервале давлений 0,05 – 0,15 МПа:**

- коэффициент сжимаемости по выражению 7.2  
 $m_0 = (0,941 - 0,932) / (0,15 - 0,05) = 0,09 \text{ МПа}^{-1} = 0,009 \text{ см}^2 / \text{кгс};$

- коэффициент относительной сжимаемости по выражению 7.3  
 $m_v = 0,09 / (1 + 0,95) = 0,046 \text{ МПа}^{-1} = 0,0046 \text{ см}^2 / \text{кгс};$

- компрессионный модуль деформации по выражению 7.4  
 $E_{0\kappa} = \beta / m_v = 0,62 / 0,046 = 13,48 \text{ МПа} = 134,8 \text{ кгс/см}^2.$

**Вывод:** в соответствии с табл. 7.1, в интервале давлений 0,05-0,15 МПа грунт относится к средней сжимаемости.



В интервале давлений 0,15 – 0,25 МПа:

- коэффициент сжимаемости

$$m_0 = (0,932 - 0,927) / (0,25 - 0,15) = 0,05 \text{ МПа}^{-1} = 0,005 \text{ см}^2 / \text{кгс};$$

- коэффициент относительной сжимаемости

$$m_v = 0,05 / (1 + 0,95) = 0,026 \text{ МПа}^{-1} = 0,0026 \text{ см}^2 / \text{кгс};$$

- компрессионный модуль деформации

$$E_{0к} = \beta / m_v = 0,62 / 0,026 = 23,8 \text{ МПа} = 238 \text{ кгс/см}^2.$$

**Вывод:** в интервале давлений 0,15-0,25 МПа грунт относится к малосжимаемым.

**Пример 9.27.** С помощью жесткого круглого штампа площадью 5000 см<sup>2</sup> (диаметр  $d \approx 79,8 \text{ см}$ ) проведено испытание пылеватого песка, влажного, средней плотности на сжатие статическими нагрузками в шурфе и получена зависимость деформации грунта от давления. Требуется определить модуль деформации грунта по выражению 7.5 в интервале давлений 0,10– 0,15 МПа ( $\Delta p = 0,05 \text{ МПа}$ ) при приращении деформации  $\Delta s = 2,3 \text{ мм}$ . При этом имеем:  $\omega = 0,8$ ;  $d = 79,8 \text{ см}$ ;  $\mu = 0,3$ ;  $\Delta p = 0,05 \text{ МПа}$  ( $0,5 \text{ кгс/см}^2$ );  $\Delta s = 2,3 \text{ мм}$ .

Итак,

$$E_0 = \omega d (1 - \mu) \Delta p / \Delta s = 0,8 \cdot 79,8 \cdot (1 - 0,3) \cdot 0,5 / 0,23 \approx 100 \text{ кгс/см}^2.$$

**Пример 9.28.** С помощью квадратного штампа площадью 5000 см<sup>2</sup> (сторона  $b \approx 70,71 \text{ см}$ ) проведено испытание суглинка тугопластичной консистенции на сжатие статическими нагрузками в шурфе и получена зависимость деформации грунта от давления. Требуется определить модуль деформации грунта по выражению 7.5 в интервале давлений 0,15– 0,20 МПа ( $\Delta p = 0,05 \text{ МПа}$ ) при приращении деформации  $\Delta s = 1,9 \text{ мм}$ . При этом:  $\omega = 0,9$ ;  $d = 70,71 \text{ см}$ ;  $\mu = 0,35$ ;  $\Delta p = 0,05 \text{ МПа}$  ( $0,5 \text{ кгс/см}^2$ );  $\Delta s = 0,19 \text{ см}$ .

Итак,

$$E_0 = \omega d (1 - \mu) \Delta p / \Delta s = 0,9 \cdot 70,71 \cdot (1 - 0,35) \cdot 0,5 / 0,19 \approx 110 \text{ кгс/см}^2.$$

## 9.18. Определение показателей сопротивления связного грунта сдвигу методом прямого среза

**Приборы и оборудования:** сдвиговой прибор типа ПСТ (рис. 9.20), фильтровальная бумага, часы, индикаторы.

### Методика проведения опыта:

1. Привести сдвиговой прибор в рабочее положение и установить в него кольцо с образцом грунта. Установить показания индикаторов на ноль.



*a*



*б*

Рис.9.20. Подготовка прибора к испытанию (*a*) и срезыватель прибора ПСТ (*б*)

2. С помощью механизма вертикального давления приложить к образцу грунта нагрузку  $N_1$  из расчета нормального напряжения  $\sigma_1 = 0,1$  МПа и выдержать до стабилизации вертикальной деформации грунта. При площади поперечного сечения образца грунта  $F=40\text{см}^2$  и соотношения плеч прибора  $\kappa=1/10$  имеем  $\sigma = N/4$ . Итак, ступени нагрузки по 4 кг.

3. Отпустить механизм горизонтального среза и прикладывать к образцу ступенями (по 5-10% от  $N$ ) сдвигающее усилие  $Q_1$ . Каждую ступень  $Q_1$  выдерживать до наступления условной стабилизации горизонтальной деформации сдвига  $\delta$ . Условная стабилизация деформации сдвига считается достигнутой, если показания индикаторов в течение последней одной минуты не изменятся. Как и при вертикальной нагрузке, здесь  $\tau = Q/4$ .

4. Определить предельное сдвигающее (касательное) напряжение  $\tau_{np}$ . За величину  $\tau_{np}$  принимается та ступенька  $\tau$ , после которой происходит срез образца грунта. Срез устанавливается по достижении  $\delta = 2 - 3$  мм или при непрекращающемся сдвиге под действием  $\tau_i$ . Полученные данные занести в журнал испытаний (табл. 9.17).

5. Повторить опыты для давлений  $\sigma_2 = 0,2$  МПа и  $\sigma_3 = 0,3$  МПа. Результаты испытаний также занести в таблицу.

6. По полученным данным построить усредненный график среза связного грунта и определить значений угла внутреннего трения  $\varphi$ , удельного сцепления  $c$  и давления связности  $p_e$ , имея в виду, что

$$\operatorname{tg} \varphi = \Delta \tau / \Delta \sigma; \quad \text{откуда} \quad \varphi = \arctg (\Delta \tau / \Delta \sigma);$$

$$c = \tau_{npi} - \sigma_i \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad p_e = c / \operatorname{tg} \varphi = c \cdot \operatorname{ctg} \varphi;$$

Значения удельного сцепления  $c$ , угла внутреннего трения  $\varphi$  и давления связности  $p_e$  можно определить также по масштабу из графика зависимости  $\tau_{np} = f(\sigma)$  (закона Кулона для связного грунта), который описывается зависимостью  $\tau_{np} = c + \sigma_i \cdot \operatorname{tg} \varphi$  (см. рис. 7.5 б).

Таблица 9.17

$N$ , кг	$\sigma$ , МПа	$Q$ , кг	$\tau$ , МПа	$\delta$ , мм	$\tau_{np}$ , МПа
$N_1$	$\sigma_1$	$Q_1 =$	$\tau_1 =$	$\delta_1 =$	$\tau_{np1} =$
		$Q_2 =$	$\tau_2 =$	$\delta_2 =$	
		$Q_3 =$	$\tau_3 =$	$\delta_3 =$	
		$Q_4 =$	$\tau_4 =$	$\delta_4 =$	
$N_2$	$\sigma_2$	$Q_1 =$	$\tau_1 =$	$\delta_1 =$	$\tau_{np2} =$
		$Q_2 =$	$\tau_2 =$	$\delta_2 =$	
		$Q_3 =$	$\tau_3 =$	$\delta_3 =$	
		$Q_4 =$	$\tau_4 =$	$\delta_4 =$	
$N_3$	$\sigma_3$	$Q_1 =$	$\tau_1 =$	$\delta_1 =$	$\tau_{np3} =$
		$Q_2 =$	$\tau_2 =$	$\delta_2 =$	
		$Q_3 =$	$\tau_3 =$	$\delta_3 =$	
		$Q_4 =$	$\tau_4 =$	$\delta_4 =$	

**Пример 9.29.** При испытании суглинка (показатель текучести  $I_L = 0,6$ , коэффициент пористости  $e = 0,75$ ) на сдвиг методом прямого плоскостного среза получены значения предельных касательных напряжений. Требуется определить прочностные параметры грунта – удельное сцепление  $c$  и угол внутреннего трения  $\varphi$ , а также давление связности  $p_e$ .

$\sigma_1 = 0,1 \text{ МПа}$	$\tau_{np1} = 0,05$
$\sigma_2 = 0,2 \text{ МПа}$	$\tau_{np2} = 0,08$
$\sigma_3 = 0,3 \text{ МПа}$	$\tau_{np3} = 0,11$

Значения  $c$  и  $\varphi$  определяем исходя из графика зависимости  $\tau_{np} = c + \sigma_i \cdot \operatorname{tg} \varphi$  (см. рис. 7.5 б) для интервала  $\Delta \sigma = \sigma_2 - \sigma_3 = 0,1 \text{ МПа}$ . При этом  $\Delta \tau = 0,11 - 0,08 = 0,03 \text{ МПа}$ .

Итак,  $\operatorname{tg} \varphi = \Delta \tau / \Delta \sigma = 0,03 / 0,1 = 0,30$ ;  $\varphi = \arctg 0,3 = 17^\circ$ ;

$c = \tau_2 - \sigma_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi = 0,08 - 0,2 \cdot 0,30 = 0,020 \text{ МПа} = 20 \text{ кПа}$ ;

$p_e = c / \operatorname{tg} \varphi = c \cdot \operatorname{ctg} \varphi = 20 / 0,3 = 66,7 \text{ кПа} = 0,0667 \text{ МПа}$ .

## 9.19. Оценка просадочности грунта

### 9.19.1. Предварительная оценка просадочности

**Пример 9.30.** По данным лабораторного исследования для лессовых грунтов района Аэропорта г. Душанбе получены следующие характеристики физических свойств:  $\rho = 1,68 \text{ т/м}^3$ ,  $\rho_s = 2,71 \text{ т/м}^3$ ,  $w_0 = 11\%$ ,  $w_L = 30\%$ ,  $w_p = 19\%$ . Требуется дать предварительную оценку просадочности грунта по показателю  $I_{ss}$  (см. п. 8.1).

**Решение:**

1. Число пластичности  $I_p = w_L - w_p = 30 - 19 = 11\% = 0,11$ ;  
По числу пластичности грунт относится к суглинкам, значит, он может быть просадочным.



## 2. Степень влажности

$$S_r = w \rho_s / e \rho_w = 0,11 \cdot 2,71 / 0,79 \cdot 1,0 = 0,38$$

$$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d = (2,71 - 1,51) / 1,51 = 0,79$$

$$\rho_d = \rho / (1 + w) = 1,68 / (1 + 0,11) = 1,51 \text{ г/см}^3;$$

Так как  $S_r < 0,8$ , значит, грунт может являться просадочным.

## 3. Показатель просадочности (по выражению 8.1)

$$I_{ss} = (e_l - e) / (1 + e) = (0,81 - 0,79) / (1 + 0,79) = 0,011$$

$$e_l = w_L \rho_s / \rho_w = 0,30 \cdot 2,71 / 1,0 = 0,81;$$

Так как величина  $I_{ss}$  меньше табличного значения, т.е.  $0,011 < 0,17$ , (при  $10 \leq I_p < 14$ ) следовательно, при предварительной оценке грунт считается просадочным.

**Пример 9.31.** По данным лабораторного исследования для грунтов строительной площадки школы в г. Канибадам получены характеристики физических свойств:  $\rho = 1,96 \text{ т/м}^3$ ,  $\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3$ ,  $w_0 = 23\%$ ,  $w_L = 34\%$ ,  $w_p = 21\%$ . Требуется дать предварительную оценку просадочности грунта по  $I_{ss}$ .

## Решение:

$$1. \text{Число пластичности } I_p = w_L - w_p = 34 - 21 = 13\% = 0,13;$$

По числу пластичности грунт относится к суглинкам, значит, он может являться просадочным.

## 2. Степень влажности $S_r$

$$S_r = w \rho_s / e \rho_w = 0,21 \cdot 2,73 / 0,69 \cdot 1,0 = 0,83$$

$$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d = (2,73 - 1,62) / 1,62 = 0,69$$

$$\rho_d = \rho / (1 + w) = 1,96 / (1 + 0,21) = 1,62 \text{ г/см}^3;$$

Так как  $S_r > 0,8$ , значит, грунт не является просадочным. Следовательно, нет необходимости в определении показателя  $I_{ss}$ . На непросадочность грунта указывает и высокая плотность сухого грунта ( $\rho_d > 1,6 \text{ г/см}^3$ ).

### 9.19.2. Определение характеристик просадочности грунта методом двух кривых (ГОСТ 23161-78)

Характеристиками просадочности грунтов являются: относительная просадочность  $\varepsilon_{sl}$ ; начальное просадочное давление  $p_{sl}$ ; начальная просадочная влажность  $w_{sl}$ .

#### Методика определения $\varepsilon_{sl}$ и $p_{sl}$ .

1. Вырезать из монолита грунта два образца (образцы близнецы) и подвергать их компрессионному испытанию (см. п. 9.17): один образец при естественной влажности  $w_0$ , другой — после его полного водонасыщения  $w_{sat}$ . Данные испытания занести в журнал (табл. 9.18).

2. Вычислить значения относительной деформации грунта при каждой ступени давления ( $\varepsilon = s_{cp} / h$ ), построить графики зависимости  $\varepsilon = f(p)$  при  $w_0$  и  $w_{sat}$  (рис. 9.21).

3. Значения  $\varepsilon_{sl}$  определить при каждом давлении по графикам (см. рис. 9.21), как разность кривых  $w_{sat}$  и  $w_0$ .

4. За начальное просадочное давление  $p_{sl}$  принимается давление, соответствующее значению  $\varepsilon_{sl} = 0,01$  между кривыми  $w_{sat}$  и  $w_0$ .

#### Методика определения $w_{sl}$ .

1. Вырезать из монолита грунта 5-6 образцов и подвергать их компрессионному испытанию. Один образец испытывают при естественной влажности ( $w_0$ ) с загрузкой отдельными ступенями до максимального давления. Второй образец испытывают после его полного водонасыщения ( $w_{sat}$ ), загружая теми же ступенями при непрерывном замачивании.

2. Остальные 3-4 образца испытывают после предварительного повышения их влажности до величин, разделяющих пределы изменения  $w_0$  и  $w_{sat}$  на более или менее равные интервалы. Предварительное повышение влажности образцов грунта осуществляется путем добавления расчетного количества воды с последующим выдерживанием их в эксикаторе в течение 1 – 3 суток.

3. Вычислить значения относительной деформации и коэффициента пористости грунта, построить графики зависимости  $\varepsilon = f(p)$  при  $w_0$ ,  $w_{sat}$  и промежуточных значениях влажности  $w_i$  (рис. 9.22). В данном случае число графиков будет соответствовать числу испытанных образцов.

4. На этом же графике наносить вспомогательную кривую (пунктирную), параллельную кривой при естественной влажности  $w_0$  (кривая 1). Начало вспомогательной кривой на оси  $\varepsilon$  соответствует величине 0,01. По точкам пересечения вспомогательной кривой с кривыми компрессионных испытаний (кривые 5, 4 на рис.9.22) определяют величину начальной просадочной влажности  $w_{sl}$  при различных давлениях  $p_i$ . Точка пересечения вспомогательной кривой с кривой при  $w_{sat}$  (самая нижняя кривая) соответствует начальному просадочному давлению  $p_{sl}$ .

**Пример 9.32.** По данным компрессионного испытания двух образцов-близнецов лессовых грунтов Восточных холмов г. Душанбе методом двух кривых получены относительные деформации грунта  $\varepsilon = s_{cp} / h$  при естественной влажности и полном водонасыщении грунта (табл.9.18). Требуется построить графики зависимости  $\varepsilon = f(p)$  и определить значения относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  и начального просадочного давления  $p_{sl}$ .

Таблица 9.18

Давление, $p$ , МПа	Относительная деформация ( $\varepsilon = s_{cp} / h$ ) при влажности	
	естественной, $w_0$	полной влагоемкости, $w_{sat}$
0,05	0,002	0,009
0,10	0,004	0,015
0,15	0,005	0,019
0,20	0,006	0,022
0,25	0,008	0,025
0,30	0,009	0,026

### Решение:

1. Строим графики зависимости  $\varepsilon = f(p)$  при  $w_0$  и  $w_{sat}$

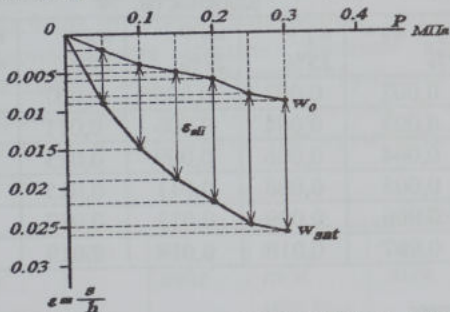


Рис. 9.21. Графики зависимости  $\varepsilon = f(p)$  при  $w_0$  и  $w_{sat}$

2. Определяем значения относительной просадочности  $\varepsilon_{sb}$  которые занесем в нижеследующую таблицу

$p$ , МПа	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
$\varepsilon_{st}$	0,007	0,011	0,014	0,016	0,017	0,017

3. Определяем значение начального просадочного давления  $p_{st}$ . Для этого откладываем между графиками  $w_0$  и  $w_{sat}$  по масштабу значение  $\varepsilon_{st} = 0,01$  (см. рис. 9.21), которое соответствует давлению 0,095 МПа на оси  $p$ . Таким образом значение начального просадочного давления равно  $p_{st} = 0,095 \text{ МПа} = 95 \text{ кПа}$ .

**Пример 9.33.** По данным компрессионного испытания 5 образцов-близнецов лессовых грунтов Восточных холмов г. Душанбе получены относительные деформации грунта  $\varepsilon$  при  $w_0 = 9\%$ ,  $w_{sat} = 32\%$ , а также при промежуточных значениях влажности (табл. 9.19). Требуется построить графики зависимости  $\varepsilon = f(p)$  и определить значения начальной просадочной влажности  $w_{st}$  и начального просадочного давления  $p_{st}$ .

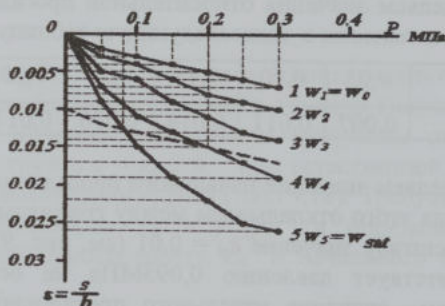


Таблица 9.19

Давление, $p$ , МПа	Относительная деформация ( $\varepsilon = s_{cp}/h$ ) при влажности, %				
	$w_1 = w_0 = 9\%$	$w_2 = 15\%$	$w_3 = 21\%$	$w_4 = 27\%$	$w_5 = w_{sat} = 32\%$
0,05	0,002	0,003	0,005	0,007	0,009
0,10	0,003	0,004	0,006	0,011	0,015
0,15	0,004	0,006	0,009	0,013	0,019
0,20	0,005	0,008	0,011	0,015	0,022
0,25	0,006	0,009	0,013	0,017	0,025
0,30	0,007	0,010	0,014	0,019	0,026

**Решение:**

1. Строим графики зависимости  $\varepsilon = f(p)$  при  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5$ .

Рис.9.22. Графики зависимости  $\varepsilon = f(p)$ 

4. Определяем значения начальной просадочной влажности  $w_{sl}$ . Для этого проводим вспомогательную пунктирную линию параллельно графику 1 по значению  $\varepsilon = 0,01$ . Как видим, просадочные свойства исследуемого грунта проявляются при влажности более 21%, так как вспомогательная (пунктирная) линия пересекается только с графиками 4 и 5. Следовательно, значения  $w_{sl}$  равны:

$$\begin{aligned} \text{при } p &= 0,2 \text{ МПа} \\ \text{при } p &= 0,08 \text{ МПа} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{sl} &= w_4 = 27\%; \\ w_{sl} &= w_5 = 32\%; \end{aligned}$$

**Пример 9.34.** При инженерно-геологических изысканиях строительной площадки в махалле Якка-Бог г. Истаравшан получены данные о физических и просадочных характеристиках грунтов (табл.9.20). В случае замачивания толщи грунтов до полного водонасыщения среднее значение влажности по глубине составляет  $w_{sat} = 32,5\%$ . Требуется определить мощность просадочного слоя ( $H_{sl}$ ), просадку от собственного веса грунта ( $S_{slg}$ ) и установить тип грунтовых условий по просадочности.

Таблица 9.20

$h$ , м	$\rho$ , $\text{м/м}^3$ при $w_0$	$w_0$	$\rho_d$ , $\text{м/м}^3$	$\rho$ , $\text{м/м}^3$ при $w_{sat}$	$\sigma_{zg}$ , кПа	$\varepsilon_{sl}$ при $\sigma_{zg}$
1	2	3	4	5	6	7
1,0	1,69	0,14	1,48	1,96	19,23	0,003
2,0	1,66	0,12	1,48	1,96	38,46	0,005
3,0	1,65	0,11	1,49	1,97	57,79	0,007
4,0	1,68	0,12	1,50	1,99	77,31	0,008
5,0	1,69	0,11	1,52	2,01	97,03	0,010
6,0	1,71	0,12	1,53	2,03	116,94	0,011
7,0	1,75	0,13	1,55	2,05	137,05	0,013
8,0	1,79	0,15	1,56	2,07	157,36	0,011
9,0	1,79	0,14	1,57	2,08	177,76	0,008
10,0	1,84	0,16	1,59	2,11	198,46	0,005

### Решение:

1. Как видно из таблицы, грунты данной строительной площадки до глубины 5м не просадочны от природного давления, так как значения относительной просадочности  $\varepsilon_{sl} < 0,01$ . Просадочными являются слой в интервале глубин 5 - 8м. Следовательно, мощность просадочного слоя составляет  $H_{sl} = 4\text{м}$ .

2. Определяем просадку от природного давления  $\sigma_{zg}$  в интервале 5 - 8м при  $K_{sd} = 1$  (формула 8.4).

$$S_{slg} = (0,010 + 0,011 + 0,013 + 0,011) \cdot 100 = 4,6 \text{ см.}$$

Так как расчетная величина просадки  $S_{slg}$  меньше 5см, следовательно, грунты строительной площадки относятся к I - типу по просадочности.

глубина, м	число испытаний	среднее значение, мм	максимальное значение, мм	минимальное значение, мм	коэффициент вариации	тип грунта
0,0 - 0,5	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
0,5 - 1,0	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
1,0 - 1,5	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
1,5 - 2,0	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
2,0 - 2,5	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
2,5 - 3,0	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
3,0 - 3,5	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
3,5 - 4,0	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
4,0 - 4,5	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
4,5 - 5,0	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
5,0 - 5,5	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
5,5 - 6,0	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
6,0 - 6,5	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
6,5 - 7,0	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
7,0 - 7,5	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
7,5 - 8,0	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
8,0 - 8,5	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
8,5 - 9,0	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
9,0 - 9,5	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II
9,5 - 10,0	15,0	80,1	100,0	60,0	0,1	II

## 10. ХАРАКТЕРИСТИКИ СКАЛЬНЫХ ПОРОД

### 10.1. Определение предела прочности на сжатие (ГОСТ 8269.0 – 97)

Прочность горной породы определяют путем сжатия и доведения до разрушения образцов (кубиков или цилиндров) на прессе. Применяют пресс гидравлический с усилием от 100 до 500 кН по ГОСТ 28840, штангенциркуль по ГОСТ 166, угольник поверочный по ГОСТ 3749, сосуд для насыщения образцов водой. Для изготовления образцов применяются станки сверлильные с алмазным кольцевым сверлом для изготовления цилиндров и камнерезные станки с алмазным отрезным кругом для изготовления кубиков.

Из пробы горной породы, отобранной при геологической разведке, при помощи сверлильного или камнерезного станка изготавливают пять образцов в виде цилиндра диаметром и высотой 40—50 мм или куба с ребром 40—50 мм. Допускается испытывать керны, полученные в процессе разведочного бурения из одного слоя породы, диаметром от 40 до 110 мм и высотой, равной диаметру, с шлифованными торцами, если керны не имеют внешних повреждений.

Грани образцов, к которым прикладывают нагрузку пресса, обрабатывают на шлифовальном станке (круге), при этом должна быть обеспечена параллельность указанных граней. Правильность формы образцов проверяют стальным угольником. Отклонение от перпендикулярности смежных граней кубов, а также опорных и боковых поверхностей образцов не должно превышать 1 мм на 100 мм длины образца.

Направление приложения нагрузки должно быть нормальным к опорным поверхностям образцов и слоистости породы. В необходимых случаях образцы испытывают при приложении нагрузки параллельно слоистости породы. Перед определением прочности образцы измеряют штангенциркулем и высушивают до постоянной массы. Допускается испытывать образцы горной породы в насыщенном водой состоянии.



Образец устанавливают в центре опорной плиты пресса. Нагрузка на образец при испытании должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью 0,5 МПа (5 кгс/см<sup>2</sup>) в секунду. Предельная нагрузка пресса  $P_{max}$  должна быть такой, чтобы ожидаемое значение максимального усилия в процессе испытания укладывалось на шкале пресса от 0,3 до 0,8  $P_{max}$ .

Предел прочности при сжатии образца  $\sigma_{сж}$  МПа (кгс/см<sup>2</sup>), определяют по формуле 7.14. За конечный результат принимают среднеарифметическое значение пяти параллельных испытаний.

**Пример 10.1.** Проведено прессовое испытание (испытание на сжатие) пяти образцов цилиндрической формы диаметром 75мм и высотой 120мм. Получены следующие значения разрушающего усилия (кгс): 30198, 30843, 30456, 30632, 31206. Требуется определить пределы прочности и горнотехнологические характеристики горной породы.

#### Решение:

1. Определяем предел прочности на сжатие  $\sigma_{сж}$  по формуле (7.14). При площади поперечного сечения образца  $F = 44,17 \text{ см}^2$  значения  $\sigma_{сж}$  будут равны (кгс/см<sup>2</sup>): 684, 698, 689, 693, 706. За результат принимаем среднеарифметическое значение пяти параллельных испытаний, которое равно  $\sigma_{сж} = 694 \text{ кгс/см}^2$ .

2. Определяем предел прочности породы на растяжение по выражению 7.15, который равен  $\sigma_{раст} = 0,1 \sigma_{сж} \approx 69 \text{ кгс/см}^2$ .

3. Определяем пределы длительной прочности массива пород на сжатие и растяжение по выражениям (7.16) и (7.17) при коэффициенте структурного ослабления массива  $K_c = 0,9$  и коэффициенте длительной прочности  $\xi = 0,8$ . Итак,

$$R_{сж} = \sigma_{сж} K_c \xi = 694 \times 0,9 \times 0,8 = 499 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{раст} = \sigma_{раст} K_c \xi = 69 \times 0,9 \times 0,8 \approx 49 \text{ кгс/см}^2;$$

4. Определяем коэффициент крепости породы по Протодяконову по выражению 7.18 в измерениях  $\sigma_{сж}$  кгс/см<sup>2</sup>

$$f = \sigma_{сж} / 10^2 = 694 / 100 = 6,94 \approx 7$$

5. Определяем коэффициент и угол внутреннего трения горной породы по выражению 7.19.

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= f_m = (\sigma_{сж} - \sigma_{раст}) / (\sigma_{сж} + \sigma_{раст}) = \\ &= (694 - 69) / (694 + 69) = 0,819; \end{aligned}$$

Угол внутреннего трения равен  $\varphi = \arctg 0,819 \approx 40^\circ$ .

## 10.2. Определение показателя снижения прочности (размягчаемости) горной породы при насыщении водой

Показатель снижения прочности горной породы при насыщении водой характеризуется отношением прочности образцов в насыщенном водой и сухом состоянии. В соответствии с ГОСТ 25100-2011 этот показатель называется коэффициентом размягчаемости горной породы в воде.

Для испытания берется десять образцов правильной формы. Из них пять образцов насыщают водой, пять — высушивают до постоянной массы. Испытания насыщенных водой и высушенных до постоянной массы образцов проводят по методике, изложенной в п. 10.1.

Показатель снижения прочности горной породы  $K_c$  при насыщении водой определяют по формуле

$$K_c = \sigma_{сж}^I / \sigma_{сж}; \quad (10.1)$$

где  $\sigma_{сж}^I$  — среднеарифметическое значение предела прочности насыщенных водой образцов, МПа (кгс/см<sup>2</sup>);

$\sigma_{сж}$  — среднеарифметическое значение предела прочности образцов, высушенных до постоянной массы, МПа (кгс/см<sup>2</sup>).

По показателю снижения прочности при насыщении водой горные породы делятся на неразмягчаемые ( $K_c \geq 0,75$ ) и размягчаемые ( $K_c < 0,75$ ) (см. п. 3.1).

**Пример 10.2.** Для образцов горной породы (10 шт.) при испытании на сжатие в высушенном и водонасыщенном состояниях (по 5 образцов) получены пределы прочности  $\sigma_{см} = 548 \text{ кгс/см}^2$  и  $\sigma_{см}^I = 462 \text{ кгс/см}^2$ . Требуется определить коэффициент размягчаемости (показатель снижения прочности горной породы при насыщении водой) и оценить степень размягчаемости горной породы по ГОСТ 25100-2011.

**Решение:** Определяем коэффициент размягчаемости горной породы по выражению 10.1.

$$K_c = \sigma_{см}^I / \sigma_{см} = 462 / 548 = 0,843;$$

В соответствии с ГОСТ 25100-2011 испытанная горная порода относится к неразмягчаемой, так как  $K_c > 0,75$ .

## 11. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЩЕБНЯ И ГРАВИЯ (ГОСТ 8269.0 – 97)

### 11.1. Общие положения

Щебень и гравий широко используются в строительстве дорожном деле в качестве заполнителей для бетона, материала для устройства дорожной одежды, основания зданий и сооружений, дренажного материала и других целях.

**Гравий**, как природный материал, в соответствии с ГОСТ 25100-2011 относится к группе несцементированных осадочных грунтов. ГОСТ 12536 выделяет частицы гравия на крупные (10-4мм) и мелкие (4-2мм). Гравийные частицы имеют окатанные грани.

**Щебень** считается искусственным материалом, производимым в дробильно-сортировочных заводах из природного крупнообломочного (гравийно-галечникового) грунта. В соответствии с ГОСТ 12536 щебеночные частицы по размерам делятся на крупные (200- 100мм), средние (100-60мм) и мелкие (60-10мм). Грани частицы щебня -неокатанные.

В ГОСТ 8269.0-97 приведены следующие термины и определения, используемые при производстве и испытаниях щебня и гравия.

**Проба** - определенное количество материала, отобранное для испытаний от партии горной породы, щебня (гравия).

**Точечная проба** - проба материала, взятая из установленных нормативными документами мест партии.

**Объединенная проба** - проба материала, состоящая из точечных проб и характеризующая партию в целом.

**Лабораторная проба** - проба материала, приготовленная из объединенной пробы и предназначенная для всех лабораторных испытаний, предусмотренных для данного вида горной породы, щебня (гравия).

**Аналитическая проба**-проба материала из лабораторной пробы и предназначенная для нескольких видов испытаний. Из аналитической пробы отбирают отдельные навески в соответствии с методикой испытаний.



## 11.2. Требования и условия испытаний

Пробы взвешивают с погрешностью до 0,1 % массы, если в стандарте на щебень (гравий) не даны другие указания. Пробы, образцы и навески в воздушно-сухом состоянии (состоянии естественной влажности) высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре  $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , до тех пор, пока разница между результатами двух последовательных взвешиваний не будет менее 0,1% массы навески. Каждое последующее взвешивание проводят после высушивания в течение не менее 1 ч и охлаждения не менее 45 мин.

Образцы горной породы для испытаний на сжатие изготавливают цилиндрической или кубической формы. Линейные размеры образцов измеряют штангенциркулем с погрешностью до 0,1 мм. Высота образцов цилиндрической формы не должна превышать 1,5 диаметра. Площадь каждого из оснований образца цилиндрической формы вычисляют по среднеарифметическому значению двух взаимно перпендикулярных диаметров. Высоту образца цилиндрической формы определяют как среднеарифметическое значение результатов измерений четырех образующих цилиндра, расположенных в четвертях его окружности.

Для определения площади нижней и верхней граней образца кубической формы определяют среднеарифметические значения длины каждой пары параллельных ребер данной грани. Высоту образца кубической формы определяют как среднеарифметическое значение результатов измерений четырех вертикальных ребер. Площадь поперечного сечения образца определяют как среднеарифметическое значение площадей нижнего и верхнего оснований. Объем образца определяют как произведение площади поперечного сечения на высоту.

Грани образцов, к которым прикладывают нагрузку пресса, обрабатывают на шлифовальном станке (круге), при этом должна быть обеспечена их параллельность. Правильность формы образцов проверяют стальным угольником, измеряя

линейкой или шупом образовавшийся просвет, величина которого не должна превышать 2 мм на 100 мм грани образца.

Для определения зернового состава отдельных фракций щебня (гравия) должны применяться сита с круглыми или квадратными отверстиями на круглых или квадратных обечайках с диаметром или стороной не менее 300 мм. Стандартный набор сит для щебня (гравия) КСИ должен включать сито с квадратными отверстиями размером 1,25 мм по ГОСТ 6613 и сита с круглыми отверстиями диаметрами 2,5; 5(3); 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70(80) мм. Для определения размера зерен крупнее 70(80) мм следует применять проволочные кольца-калибры различного диаметра в зависимости от ожидаемой крупности щебня (гравия): 90; 100; 110; 120 мм и более.

Температура помещения, в котором проводят испытания, должна быть  $(20 \pm 5)$  °С. Перед началом испытания горная порода, щебень (гравий) и вода должны иметь температуру, соответствующую температуре воздуха в помещении. Воду для проведения испытаний применяют по ГОСТ 23732, если в стандарте не даны указания по использованию дистиллированной воды или других жидкостей. При использовании в качестве реактивов опасных (едких, токсичных) веществ следует руководствоваться требованиями безопасности, изложенными в нормативных и технических документах на эти реактивы.

Испытания на сжатие образцов горной породы или щебня (гравия) на дробимость в цилиндре должны проводиться на гидравлических прессах по ГОСТ 28840. Предельная нагрузка пресса  $P_{max}$  должна быть такой, чтобы ожидаемое значение максимального усилия в процессе испытания укладывалось на шкале пресса от 0,3 до 0,8  $P_{max}$ .

Для испытаний (измерений) допускается использование аналогичного импортного оборудования. Применяемые для испытаний средства измерений и испытательное оборудование, в том числе импортного производства, должны быть поверены, откалиброваны и аттестованы по ГОСТ 8.513, ГОСТ 8.326,

ГОСТ 24555. Нестандартные средства контроля должны пройти метрологическую аттестацию в соответствии с требованиями ГОСТ 8.326.

Результаты испытаний рассчитывают с точностью до второго знака после запятой, если не даны другие указания относительно точности вычисления.

### 11.3. Отбор проб

Пробы отбирают с целью проведения приемочного контроля на предприятии (карьере)-изготовителе, входного контроля на предприятии-потребителе, а также для определения свойств горных пород и получаемых из них щебня и гравия при геологической разведке. Если в правилах приемки конкретного вида продукции не предусмотрен иной порядок отбора проб, то при приемочном контроле на предприятии-изготовителе отбирают точечные пробы, из которых путем смешивания получают одну объединенную пробу от сменной продукции каждой технологической линии.

Отбор точечных проб с технологических линий, транспортирующих продукцию на склад или непосредственно в транспортные средства, осуществляют путем пресечения потока материала на ленточном конвейере или в местах перепада потока материала. Отбор проб осуществляется с помощью пробоотборника или вручную. При ручном способе пробы отбирают на перепаде потока материала с помощью ручного пробоотборника или с ленты конвейера совком или совковой лопатой при его остановке. Точечные пробы отбирают через каждый час. Интервал отбора точечных проб при ручном отборе может быть увеличен, если предприятие-изготовитель выпускает продукцию стабильного качества.

Масса точечной пробы должна быть не менее:

-2,5 кг — для щебня (гравия) с наибольшим номинальным размером зерен 10 мм и менее;

5,0 кг — для щебня (гравия) с наибольшим номинальным размером зерен 20 мм и более.



Если при использовании для отбора проб механического пробоотборника масса точечной пробы окажется меньше указанного значения, то необходимо увеличить число отбираемых проб.

После отбора точечные пробы объединяют, тщательно перемешивают и перед отправкой в лабораторию сокращают методом квартования. Для квартования пробы (после ее перемешивания) конус материала разравнивают и делят взаимно перпендикулярными линиями, проходящими через центр, на четыре части. Две любые противоположные четверти берут в пробу. Последовательным квартованием сокращают пробу в два, четыре раза и т.д. до получения такой массы пробы, которая была бы достаточной для усредненного качества всей партии, но не менее указанной в таблице 11.1. Масса лабораторной пробы при приемочном контроле на предприятии-изготовителе также должна быть не менее, указанной в таблице 11.1.

Таблица 11.1

Наибольший номинальный размер зерен $D$ , мм	Масса пробы, кг
10	5,0
20	10,0
40	20,0
Св. 40	40,0

Указанную пробу используют для всех испытаний, предусмотренных при приемочном контроле. При неудовлетворительных результатах испытаний этой пробы отбирают таким же способом вторую объединенную пробу. При неудовлетворительных результатах испытаний второй пробы партия бракуется. При удовлетворительных результатах испытаний второй пробы отбирают и испытывают третью пробу, результаты испытаний которой являются окончательными. Оценку качества щебня (гравия) проводят по двум положительным результатам, полученным последовательно.



Для каждого испытания из лабораторной пробы квартованием готовят аналитическую пробу. Из аналитической пробы отбирают навески в соответствии с методикой испытаний. Допускается использование одной аналитической пробы для проведения нескольких видов испытаний, если в процессе предшествующих испытаний другие свойства материала не подвергаются изменению.

Отобранные пробы упаковывают таким образом, чтобы масса и свойства материалов не изменялись до проведения испытаний. Каждую пробу снабжают двумя этикетками с обозначением пробы. Одну этикетку помещают внутрь упаковки, другую - на видном месте упаковки. При транспортировании должна быть обеспечена сохранность упаковки от механического повреждения и намокания.

#### 11.4. Зерновой состав (ГОСТ 12536-79)

Зерновой состав щебня (гравия) определяют путем отсева пробы на стандартном наборе сит. Сита и проволочные круглые калибры с отверстиями, соответствующими номинальным ( $D$  - наибольший и  $d$  наименьший) размерам зерен данной фракции:  $1,25D$ ;  $D$ ;  $0,5(D + d)$ ;  $d$ , а также 2,5 и 1,25 мм. Для отсева фракций от 5(3) до 20 мм применяют сито с размером отверстий 10 мм.

Для испытания используют лабораторную пробу без ее сокращения по таблице 1, высушенную до постоянной массы. Пробу просеивают ручным или механическим способом через сита с отверстиями указанных выше размеров, собранные последовательно в колонку, начиная снизу с сита с отверстиями наименьшего размера, при этом толщина слоя щебня (гравия) на каждом из сит не должна превышать наибольшего размера зерен щебня (гравия). Продолжительность просеивания должна быть такой, чтобы при контрольном интенсивном ручном встряхивании каждого сита в течение 1 мин через него проходило не более 0,1 % общей массы просеиваемой пробы. При механическом просеивании его продолжительность для

применяемого прибора устанавливают в соответствии с указанным выше условием.

При ручном просеивании допускается определять окончание просеивания следующим способом: каждое сито интенсивно трясут над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом не наблюдается падение зерен щебня (гравия). После отсева пробу вновь объединяют и используют для приготовления аналитических проб для проведения остальных испытаний.

При испытании гравия, загрязненного глиной, рассев производят после предварительной промывки с определением содержания пылевидных и глинистых частиц. Содержание пылевидных и глинистых частиц включают при расчете результатов отсева в массу частиц, проходящих через сито с размером отверстий 1,25 мм.

## **11.5. Содержание пылевидных и глинистых частиц**

### **Метод отмучивания**

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне (гравии) определяют по изменению массы пробы после отмучивания пылевидных и глинистых частиц (размер частиц менее 0,05 мм). Для этого применяют сосуд для отмучивания (рис. 11.1) или цилиндрическое ведро высотой не менее 300 мм с сифоном.

Берут аналитическую пробу щебня (гравия) массой не менее 5 кг, высушенную до постоянной массы. При этом для испытания щебня (гравия) фракции от 5(3) до 10 мм используют целиком пробу, применяемую при определении зернового состава. Пробу щебня (гравия) помещают в сосуд для отмучивания или ведро, заливают водой несколько выше уровня щебня и оставляют в таком состоянии до полного размокания глинистой пленки (определяется визуально) на зернах щебня (гравия) или комков глины. После этого в сосуд или ведро со щебнем (гравием) доливают воду в таком количестве, чтобы высота слоя воды над щебнем была 200 мм; содержимое сосуда

перемешивают деревянной мешалкой и оставляют в покое на 2 мин. Через 2 мин сливают полученную суспензию. При этом необходимо оставлять слой ее над щебнем (гравием) высотой не менее 30 мм.

Затем щебень (гравий) вновь заливают водой до указанного выше уровня. Промывку щебня (гравия) в указанной последовательности повторяют до тех пор, пока вода после промывки не будет оставаться прозрачной. Воду в сосуд для отмучивания щебня (гравия) наливают до верхнего сливного отверстия. Суспензию сливают через два нижних отверстия.

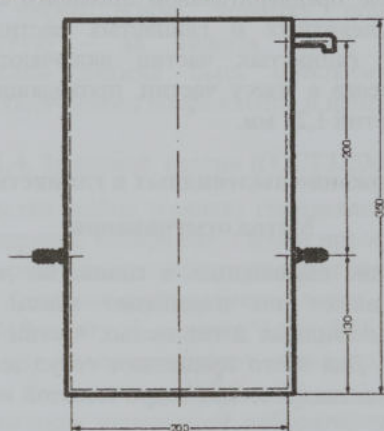


Рис.11.1. Сосуд для отмучивания

Из ведра суспензию сливают с помощью сифона, конец которого должен быть на расстоянии не менее 30 мм от поверхности щебня (гравия). После окончания отмучивания промытую пробу высушивают до постоянной массы.

Содержание в щебне (гравии) пылевидных и глинистых частиц  $\Pi$ , % по массе, определяют с точностью до 0,1 % как отношение разницы массы пробы до ( $m$ ) и после ( $m_1$ ) отмучивания к массе ( $m$ ).

## 11.6. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм

### 11.6.1 Метод визуальной разборки

Содержание в щебне (гравии) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм оценивают количеством зерен, толщина которых менее длины в три раза и более. Для этого применяются специальный передвижной шаблон или штангенциркуль по ГОСТ 166, сита из стандартного набора.

Из лабораторной пробы от каждой фракции испытываемого щебня (гравия) берут аналитические пробы. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) или игловатой формы определяют отдельно для каждой фракции щебня (гравия). При наличии в испытываемом щебне (гравии) какой-либо фракции в количестве менее 5 % по массе содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в этой фракции не определяют.

Аналитическую пробу взвешивают и из нее выбирают зерна, толщина которых меньше длины в три раза и более. Соотношение размеров зерен определяют при помощи передвижного шаблона или штангенциркуля. При использовании шаблона измеряемое зерно вкладывают наибольшим размером между губками, положение шаблона фиксируют стопорным винтом и измеряют размер зерна, затем зерно пропускают наименьшим размером между губками шаблона, установленными на расстоянии в три раза меньшем. Если зерно пройдет между губками, то его относят к зернам пластинчатой или игловатой формы.

Зерна пластинчатой и игловатой форм взвешивают. Содержание в каждой фракции щебня (гравия) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм  $P_{пл}, \%$ , определяют как отношение массы аналитической пробы до ( $m$ ) к массе зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм ( $m_1$ ).



### 11.6.2. Определение на щелевидных ситах

Метод основан на просеивании щебня (гравия) через щелевидные сита. Для этого применяется набор щелевидных сит, изготовленных из листового проката по ГОСТ 19904 на круглых или квадратных обечайках с диаметром или стороной не менее 300 мм. Размеры отверстий щелевидных сит принимаются по таблице 11.2.

Таблица 11.2

Номинальные размеры, мм, зерен щебня (гравия)		Размеры, мм, отверстий	
Наименьшие	Наибольшие	Длина	Ширина
5(3)	10	10	2,5
10	20	20	5,0
20	40	40	10,0
40	70	70	20,0
70(80)	120	120	35,0

От каждой фракции испытываемого щебня (гравия) берут аналитическую пробу и просеивают через щелевидные сита. Зерна, прошедшие через щелевидное сито, относят к пластинчатым и игловатым. Содержание в каждой фракции щебня (гравия) пластинчатых и игловатых зерен Ппл, %, определяют как отношение массы аналитической пробы к массе зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм.

### 11.7. Определение дробимости

Дробимость щебня (гравия) определяют по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре. Применяются цилиндры стальные с внутренними диаметрами 75 и 150 мм и высотой соответственно 75 и 150 мм со съемным дном и плунжером (рис. 11.2). Другие размеры испытательного цилиндра представлены в таблице 11.3. Испытание осуществляется на прессах гидравлических с максимальным усилием до 500 кН по ГОСТ 28840.

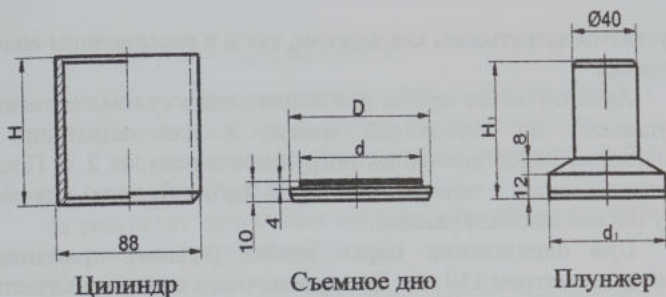


Рис. 11.2. Цилиндры стальные

Таблица 11.3

$D$	$d$	$d_1$	$H$	$H_1$
87	75	73	75	70
170	150	148	150	120

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух или более смежных фракций, исходный материал рассеивают на стандартные фракции и каждую фракцию испытывают отдельно. Щебень (гравий) фракции от 5 до 10, св. 10 до 20 или св. 20 до 40 мм просеивают через два сита с отверстиями, соответствующими наибольшей ( $D$ ) и наименьшей ( $d$ ) крупности испытываемой фракции. От остатков на сите с отверстиями размером, равным  $d$ , отбирают две аналитические пробы массой не менее 0,5 кг каждая при испытании в цилиндре диаметром 75 мм и не менее 4 кг - при испытании в цилиндре диаметром 150 мм. Щебень (гравий) крупнее 40 мм предварительно дробят и испытывают фракции св. 10 до 20 мм или св. 20 до 40 мм.

При одинаковом петрографическом составе щебня (гравия) фракции св. 20 до 40 мм и св. 40 до 70 мм прочность последней допускается характеризовать результатами испытаний фракции св. 20 до 40 мм. Щебень (гравий)

допускается испытывать как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии.

Аналитические пробы для испытания в сухом состоянии высушивают до постоянной массы, а для испытания в насыщенном водой состоянии погружают в воду на 2 ч. После насыщения водой с поверхности зерен щебня (гравия) удаляют влагу мягкой влажной тканью.

При определении марки щебня (гравия) применяют цилиндр диаметром 150 мм. Для приемочного контроля качества щебня (гравия) фракции от 5 до 10 мм и св. 10 до 20 мм допускается применять цилиндр диаметром 75 мм. Пробу щебня (гравия) насыпают в цилиндр с высоты 50 мм так, чтобы после разравнивания верхний уровень материала примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра. Затем в цилиндр вставляют плунжер так, чтобы плита плунжера была на уровне верхнего края цилиндра. Если верх плиты на плунжере не совпадает с краем цилиндра, то удаляют или добавляют несколько зерен щебня (гравия). После этого цилиндр помещают на нижнюю плиту пресса.

Увеличивая силу нажатия пресса на 1-2 кН (100-200 кгс) в секунду, доводят ее при испытании щебня (гравия) в цилиндре диаметром 75 мм до 50 кН (5000 кгс), при испытании в цилиндре диаметром 150 мм - до 200 кН (20000 кгс). После сжатия испытываемую пробу высыпают из цилиндра и взвешивают. Затем ее просеивают, в зависимости от размера испытываемой фракции, через сито с отверстиями размером: 1,25 мм - для щебня (гравия) размером фракции от 5 до 10 мм; 2,5 мм - то же св. 10 до 20 мм; 5,0 мм - то же св. 20 до 40 мм. Остаток щебня (гравия) на сите после просеивания взвешивают.

При испытании щебня (гравия) в насыщенном водой состоянии навеску на сите тщательно промывают водой и удаляют поверхностную влагу с зерен щебня (гравия) мягкой влажной тканью.

Дробимость  $D_p$ , %, определяют с точностью до 1 % по выражению

$$D_p = [(m - m_1) / m] \cdot 100\%; \quad (11.1)$$

где  $m$  - масса аналитической пробы щебня (гравия), г;  
 $m_1$  - масса остатка на контрольном сите после  
 просеивания раздробленной в цилиндре пробы  
 щебня (гравия), г.

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

### 11.8. Определение истираемости на полочном барабане

Истираемость (износ) щебня (гравия) определяют по потере массы зерен при испытании пробы в полочном барабане с шарами. Применяют барабан полочный диаметром 700, длиной 500 мм, снабженный на внутренней поверхности полкой шириной 100 мм (рис. 12.3). Шары стальные или чугунные диаметром 48 мм, массой  $(405 \pm 10)$  г каждый - 12 шт. Весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329 или лабораторные по ГОСТ 24104. Шкаф сушильный. Сита из стандартного набора и с сеткой № 1,25 по ГОСТ 6613.

Испытываемый щебень (гравий) не должен содержать пылевидных и глинистых частиц более 1% по массе. В противном случае щебень (гравий) предварительно промывают и высушивают. Щебень (гравий) фракций от 5 до 10, св. 10 до 20 и св. 20 до 40 мм в состоянии естественной влажности просеивают через два сита с отверстиями размерами, соответствующими наибольшему  $D$  и наименьшему  $d$  номинальным размерам зерен данной фракции. Из остатка на сите с отверстиями размером  $d$  отбирают две аналитические пробы по 5 кг с предельной крупностью зерен до 20 мм и две пробы по 10 кг фракции св. 20 до 40 мм.

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух или более смежных фракций, аналитические пробы готовят рассеиванием исходного материала на стандартные фракции и каждую фракцию испытывают отдельно. Щебень (гравий)



крупнее 40 мм дробят до получения зерен мельче 40 мм и испытывают щебень (гравий) фракции св. 20 до 40 мм.

В случае одинакового петрографического состава фракций щебня (гравия) св. 20 до 40 и св. 40 до 70 мм истираемость последней допускается характеризовать результатами испытаний фракции св. 20 до 40 мм.

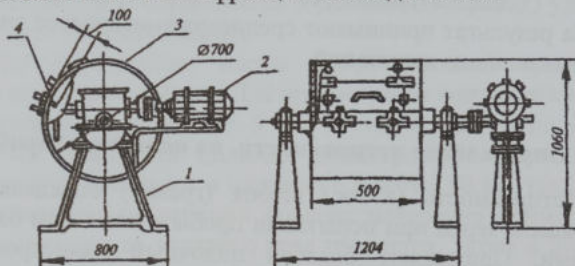


Рис. 12.3. Полочный барабан

1 — станина; 2 — двигатель; 3 — барабан; 4 — полка барабана

Подготовленную пробу загружают в полочный барабан вместе с чугунными или стальными шарами, закрепляют крышку барабана и приводят его во вращение со скоростью 30—33 об/мин.

Число чугунных или стальных шаров и общее число оборотов барабана в процессе одного испытания щебня (гравия) принимают по таблице 11.4.

По окончании испытания содержимое барабана просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм и контрольное сито №1,25. Остатки на ситах соединяют и взвешивают.

Таблица 11.4

Размер фракции щебня (гравия), мм	Число шаров, шт.	Число оборотов полочного барабана
От 5 до 10	8	500
Св. 5 до 15	9	500
Св. 10 до 20	11	500
Св. 20 до 40	12	1000

Истираемость щебня  $I$ , %, определяют по формуле

$$I = [(m - m_1) / m] \cdot 100\% \quad (11.2)$$

где  $m$  - масса пробы щебня (гравия), г;

$m_1$  - суммарная масса остатков на сите с отверстиями диаметром 5 мм и контрольным сите, г.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

**Пример 11.1.** Проведено испытание пробы щебня фракций 10-20мм на истираемость в полочном барабане с 11 чугунными шарами. При исходной массе пробы  $m = 5000\text{г}$  суммарная масса остатков на сите с отверстиями диаметром 5 мм и контрольном сите оказалась  $m_1 = 3868\text{г}$ . Требуется определить истираемость щебня.

**Решение:** Истираемость испытанного щебня, %, определяем по формуле 11.2.

$$I = [(m - m_1) / m] \cdot 100\% = [(5000 - 3868) / 5000] \cdot 100\% = 22,64\% = 0,2264.$$

В соответствии с ГОСТ 25100-2011 по истираемости щебень относится к средней прочности (см. табл. 2.20).

### 11.9. Определение морозостойкости методом замораживания

Морозостойкость щебня (гравия) определяют по потере массы пробы при попеременном замораживании и оттаивании. Применяется камера морозильная, обеспечивающая достижение и поддержание температуры до минус  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , ванна для насыщения водой и оттаивания щебня (гравия), сосуд металлический.

Каждую фракцию щебня (гравия) испытывают на морозостойкость отдельно. Фракции, содержащиеся в щебне (гравии) в количестве менее 5 % по массе, на морозостойкость не испытывают.

Для испытания берут от каждой фракции две аналитические пробы. Масса каждой пробы должна быть не менее:

1,0 кг - для щебня (гравия) размером фракции от 5 до 10 мм;

1,5 кг - то же св. 10 до 20 мм;

2,5 кг - то же св. 20 до 40 мм;

5,0 кг - то же св. 40 до 70 (80) мм.

Зерна крупнее 70 (80) мм дробят и испытывают фракцию размером св. 40 до 70 (80) мм. Полученные пробы щебня (гравия) промывают и высушивают до постоянной массы.

Аналитическую пробу щебня (гравия) данной фракции равномерно насыпают в металлический сосуд и заливают водой, с температурой около  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ . Через 48 ч сливают воду из сосуда, помещают щебень (гравий) в морозильную камеру и доводят температуру в камере до минус  $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

Продолжительность цикла замораживания щебня (гравия) в камере при установившейся температуре не выше минус  $16^\circ\text{C}$  должна составлять 4 ч. После этого сосуд со щебнем (гравием) помещают в ванну с проточной или сменяемой водой с температурой  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$  и выдерживают до полного оттаивания щебня (гравия), но не менее 2 ч. Далее циклы испытания повторяют.

После 15, 25 и каждых последующих 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания пробу щебня (гравия) высушивают до постоянной массы, просеивают через контрольное сито, на котором она полностью оставалась перед испытанием.

Зерна щебня (гравия) фракции св. 40 до 70 (80) мм, имеющие свежую поверхность раскола и оставшиеся на сите с размером отверстий 40 мм, относят к неморозостойким. Их массу не включают в массу остатка на контрольном сите.

Потерю массы пробы  $\Delta m$ , %, определяют по формуле

$$\Delta m = [(m - m_1) / m] \cdot 100\% \quad (11.3)$$

где  $m$  — масса пробы до испытания, г;  
 $m_1$  — масса остатка на сите после соответствующего цикла замораживания и оттаивания, г.

За результат принимают среднее значение двух параллельных опытов.

### 11.10. Определение водопоглощения

Водопоглощение определяют путем сравнения массы образцов торной породы или проб щебня (гравия) в насыщенном водой состоянии и после высушивания. Применяют весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329, шкаф сушильный, сосуд для насыщения образцов водой, щетка металлическая.

Для определения водопоглощения горной породы из геологической пробы отбирают пять образцов правильной формы или пять образцов произвольной формы размером от 40 до 70 (80) мм. Образцы очищают металлической щеткой от рыхлых частиц и пыли и высушивают до постоянной массы. Для определения водопоглощения щебня (гравия) берут аналитическую пробу, которую промывают и высушивают до постоянной массы.

Образцы горной породы или щебня (гравия) укладывают в сосуд с водой комнатной температуры так, чтобы уровень воды в сосуде был выше верха образцов или пробы щебня (гравия) не менее чем на 20 мм. В таком положении образцы или пробу выдерживают в течение 48 ч, после чего их вынимают из сосуда, удаляют влагу с поверхности отжатой влажной мягкой тканью и каждый образец или пробу взвешивают, при этом масса воды, вытекающей из образца или щебня (гравия) на чашку весов, должна включаться в массу образца (пробы).



Водопоглощение  $W_{\text{погл}}$  % по массе, определяют по формуле

$$W_{\text{погл}} = [(m_1 - m) / m] \cdot 100 \% ; \quad (11.4)$$

где  $m$  - масса образца или пробы в сухом состоянии, г;  
 $m_1$  - масса образца (пробы) в насыщенном водой состоянии.

В необходимых случаях в зависимости от назначения щебня (гравия) образцы выдерживают в воде до насыщения их до постоянной массы.

За результат принимают среднеарифметическое значение пяти параллельных испытаний горной породы и двух параллельных испытаний щебня (гравия).

**Пример 11.2.** Из щебня фракции 20-40мм взята аналитическая проба массой 2500г для испытания на водопоглощение. После промывки проба высушена, и ее масса составляла  $m = 2383\text{г}$ . После 48 часовой выдержки в воде с комнатной температурой и удаления свободной воды из поверхности частиц щебня масса пробы равнялась  $m_1 = 2431\text{г}$ . Требуется определить водопоглощение щебня.

**Решение:** Водопоглощение определяем по формуле 11.4.

$$W_{\text{погл}} = [(m_1 - m) / m] \cdot 100 \% = [(2431 - 2383) / 2383] \cdot 100 \% = 2 \%$$

## Глава 12. ГАРМОНИЗАЦИЯ С ТРЕБОВАНИЯМИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ \*

### 12.1. Общие положения

Гармонизация проводится для определения соответствия наименований дисперсных грунтов, используемых в ГОСТ 25100-2011 и в стандартах ISO 14688-2:2004 и ASTM D 2487-00.

Определение наименований крупнообломочных, крупнозернистых и песчаных грунтов в стандартах ISO 14688 и ASTM D 2487 проводится на основании их гранулометрического состава, степени фракционированности и коэффициента кривизны, определяемых по кривой гранулометрического состава.

Взаимное соответствие различных фракций грунтов в ГОСТ 25100-2011 и в стандартах ISO 14688 и ASTM D 2487 приведено в таблице 12.1. Определение наименований тонкодисперсных грунтов в стандартах ISO 14688 и ASTM D 2487 проводится на основании показателей пластичности и содержания органического вещества, а так же гранулометрического состава крупнозернистой фракции (крупнее 0,063 и 0,075 мм соответственно).

Для установления соответствия наименований тонкодисперсных грунтов по ГОСТ 25100-2011 и стандартам ISO 14688 и ASTM D 2487 проводится пересчет результатов определения границы текучести, полученных по ГОСТ 5180 и стандартам ISO/TS 17892-6:2004 и ASTM D 4318-00, с использованием корреляционного уравнения.

Корреляция наименований органо-минеральных тонкозернистых грунтов проводится по результатам определения содержания органического вещества (по сжиганию) или границы текучести по методу Казагранде.

Определение частных характеристик свойств грунтов и их разновидностей проводится по результатам их определения по классификациям соответствующих стандартов.

---

\* - данная глава заимствована из ГОСТ 25100-2011



## 12.2. Классификация крупнообломочных, крупнозернистых и песчаных грунтов

Для пересчета содержаний отдельных фракций, определяемых в различных стандартах, а также определения степени фракционированности и коэффициента кривизны, строится кумулятивная кривая гранулометрического состава, на основании которой проводятся дальнейшие пересчеты по нормам требуемого стандарта (см. табл. 12.1).

Для классификации крупнообломочных, крупнозернистых и песчаных грунтов по стандарту ASTM D 2487 проводится расчет содержания фракций по граничным размерам частиц: 300, 76.2, 19, 4.75, 0.425 и 0.075 мм; для классификации по стандарту ISO 14688 – 630, 200, 63, 20, 6.3, 0.63, 0.2 и 0.063 мм; для классификации по ГОСТ 25100-2011 – 800, 400, 200, 100, 60, 40, 20, 10, 4, 0.5, 0.25, 0.1, и 0.05 мм. Для расчета степени фракционированности и коэффициента кривизны определяются параметры  $d_{60}$ ,  $d_{30}$  и  $d_{10}$ .

Дальнейшая классификация крупнообломочных, крупнозернистых и песчаных грунтов по стандартам ISO 14688 и ASTM D 2487 проводится в соответствии с требованиями этих стандартов. Классификация тонкодисперсной составляющей крупнообломочных, крупнозернистых и песчаных грунтов проводится согласно п. 13.3. Классификация крупнообломочных, крупнозернистых и песчаных грунтов по стандарту ASTM D 2487 проводится на основании классификационных блок-схем (Flow Charts), приведенных в ГОСТ 25100-2011.

Классификация грунтов по стандарту ISO 14688 проводится на основании определения содержания всех гранулометрических фракций. В наименовании грунта указываются все содержащиеся в нем фракции. Название основной (по содержанию) фракции указывается в виде существительного, символ фракции записывается с заглавной буквы. Второстепенные фракции входят в наименование грунта в виде прилагательных и располагаются перед названием основной фракции в порядке увеличения их содержания.



Символы второстепенных фракций записываются прописными буквами. В наименовании грунта могут использоваться различные сочетания терминов. Например: sandy medium gravel (saMGr), fine gravelly, coarse sandy silt (fgrcsaSi).

Сопоставление наименований крупнообломочных и крупнозернистых грунтов, определенных по ГОСТ 25100-2011 и стандартам ISO 14668 и ASTM D 2487, приводится в таблицах 12.2, 12.3. Взаимное соответствие наименований песчаных грунтов, определенных по стандартам ГОСТ 25100 и ISO 14668 приведены в таблицах 12.4, 12.5.

### 12.3. Классификация тонкодисперсных грунтов

Классификация тонкодисперсных грунтов проводится на основании показателей пластичности грунтов. Для классификации проводится пересчет значений границы текучести  $w_L$  и  $LL$  в значения требуемого стандарта. Для пересчета должны использоваться региональные зависимости, полученные при корреляции результатов опытных определений на объекте исследований. Значения границы раскатывания  $w_P$  и  $PL$  принимаются равными друг другу. При отсутствии региональных данных, только в целях сопоставления классификационных наименований грунтов, пересчет значений  $w_L$  и  $LL$  может проводиться по следующим формулам:

$$LL = 1,48 \times w_L - 8,3; \quad (12.1)$$

$$w_L = (LL + 8,3) / 1,48. \quad (12.2)$$

После пересчета значений  $w_L$  и  $LL$  рассчитываются величины  $PI$ ,  $I_P$ ,  $I_L$ ,  $I_C$  и проводится классификация грунтов по методикам требуемого стандарта.

Таблица 12.2

ГОСТ 25100		ISO 14688	
Наименование грунта		Наименование грунта	
Индекс			
Валунный (глыбовый) грунт		Boulders, sandy boulders, silty boulders, clayey boulders	Bo, saBo, siBo, clBo
Валунный (глыбовый) грунт с песчаным заполнителем		Sandy boulders, silty sandy boulders, clayey sandy boulders	saBo, sisaBo, clsaBo
Валунный грунт с глинистым заполнителем		Silty boulders, clayey boulders, sandy silty boulders, sandy clayey boulders	siBo, clBo, sasiBo, sacBo
Галечниковый (щебенистый) грунт		Cobbles, sandy cobbles, silty cobbles, clayey cobbles; Coarse (medium) gravel, sandy coarse (medium) gravel, silty coarse (medium) gravel, clayey coarse (medium) gravel	Co, saCo, siCo, clCo; CGr (MGr), saCGr (MGr), siCGr (MGr), clCGr (MGr)
Галечниковый (щебенистый) грунт с песчаным заполнителем		Sandy cobbles, silty sandy cobbles, clayey sandy cobbles; Sandy coarse (medium) gravel, silty sandy coarse (medium) gravel, clayey sandy coarse (medium) gravel	saCo, sisaCo, clsaCo; saCGr (MGr), sisaCGr (MGr), clsaCGr (MGr)
Галечниковый (щебенистый) грунт с глинистым (суглинистым, супесчаным) заполнителем		Silty cobbles, clayey cobbles, sandy silty cobbles, sandy clayey cobbles; Silty coarse (medium) gravel, clayey coarse (medium) gravel, sandy silty coarse (medium) gravel, sandy clayey coarse (medium) gravel	siCo, clCo, sasiCo, sacCo; siCGr (MGr), clCGr (MGr), sasiCGr (MGr), sacCGr (MGr)

Продолжение табл. 12.2.

Гравийный (дресвяный) грунт	Medium (fine) gravel, sandy medium (fine) gravel, silty medium (fine) gravel, clayey medium (fine) gravel	MGr (FGr), saMGr (FGr), siMGr (FGr), clMGr (FGr)
Гравийный (дресвяный) грунт с песчаным заполнителем	Sandy medium (fine) gravel, silty sandy medium (fine) gravel, clayey medium (fine) gravel	saMGr (FGr), sisaMGr (FGr), clsaMGr (FGr)
Гравийный (дресвяный) грунт с глинистым (суглинистым, супесчаным) заполнителем	Silty medium (fine) gravel, clayey medium (fine) gravel, sandy silty medium (fine) gravel, sandy clayey medium (fine) gravel	siMGr (FGr), clMGr (FGr), sasiMGr (FGr), sacIMGr (FGr)

Таблица 12.3

ГОСТ 25100	ASTM D 2487	
	Наименование грунта	Индекс
Валунный (глыбовый) грунт	Boulders (cobbles); boulders (cobbles) with sand	G
	Boulders (cobbles) with silt; boulders (cobbles) with silt and sand	G - GM
	Boulders (cobbles) with clay; boulders (cobbles) with clay and sand	G - GC
	Silty boulders (cobbles); silty boulders (cobbles) with sand	GM
	Clayey boulders (cobbles); clayey boulders (cobbles) with sand	GC

Продолжение табл. 12.3

Валунный (глыбовый) грунт с песчаным заполнителем	Boulders (cobbles) with silt; boulders (cobbles) with silt and sand	G - GM
	Boulders (cobbles) with clay; boulders (cobbles) with clay and sand	G - GC
	Silty boulders (cobbles); silty boulders (cobbles) with sand	GM
	Clayey boulders (cobbles); clayey boulders (cobbles) with sand	GC
Валунный (глыбовый) грунт с глинистым (суглинистым, супесчаным) заполнителем	Silty boulders (cobbles); silty boulders (cobbles) with sand	GM
	Clayey boulders (cobbles); clayey boulders (cobbles) with sand	GC
Галечниковый (щебенистый) грунт	Cobbles (coarse, fine gravel); cobbles (coarse, fine gravel) with sand	G
	Cobbles (coarse, fine gravel) with silt; cobbles (coarse, fine gravel) with silt and sand	G - GM
	Cobbles (coarse, fine gravel) with clay; cobbles (coarse, fine gravel) with clay and sand	G - GC
	Silty cobbles (coarse, fine gravel); silty cobbles (coarse, fine gravel) with sand	GM
	Clayey cobbles (coarse, fine gravel); clayey cobbles (coarse, fine gravel) with sand	GC



Галечниковый (щебенистый) грунт с песчаным заполнителем	Cobbles (coarse, fine gravel) with silt; cobbles (coarse, fine gravel) with silt and sand	G - GM
	Cobbles (coarse, fine gravel) with clay; cobbles (coarse, fine gravel) with clay and sand	G - GC
	Silty cobbles (coarse, fine gravel); silty cobbles (coarse, fine gravel) with sand	GM
	Clayey cobbles (coarse, fine gravel); clayey cobbles (coarse, fine gravel) with sand	GC
ASTM D 2487		
ГОСТ 25100 Наименование грунта Галечниковый (щебенистый) грунт с глинистым (суглинистым, супесчаным) заполнителем	Наименование грунта	Индекс
	Silty cobbles (coarse, fine gravel); silty cobbles (coarse, fine gravel) with sand	GM
	Clayey cobbles (coarse, fine gravel); clayey cobbles (coarse, fine gravel) with sand	GC
Гравийный (дресвяный) грунт	Fine gravel (coarse sand); fine gravel (coarse sand) with sand	G
	Fine gravel (coarse sand) with silt; fine gravel (coarse sand) with silt and sand	G - GM
	Fine gravel (coarse sand) with clay; fine gravel (coarse sand) with clay and sand	G - GC
	Silty fine gravel (coarse sand); silty fine gravel (coarse sand) with sand	GM
	Clayey fine gravel (coarse sand); clayey fine gravel (coarse sand) with sand	GC

Продолжение табл. 12.3

Гравийный (дресвяный) грунт с песчаным заполнителем			Fine gravel (coarse sand) with silt; fine gravel (coarse sand) with silt and sand	G - GM
			Fine gravel (coarse sand) with clay; fine gravel (coarse sand) with clay and sand	G - GC
			Silty fine gravel (coarse sand); silty fine gravel (coarse sand) with sand	GM
			Clayey fine gravel (coarse sand); clayey fine gravel (coarse sand) with sand	GC
Гравийный (дресвяный) грунт с глинистым (суглинистым, супесчаным) заполнителем			Silty fine gravel (coarse sand); silty fine gravel (coarse sand) with sand	GM
			Clayey fine gravel (coarse sand); clayey fine gravel (coarse sand) with sand	GC

Таблица 12.4

ГОСТ 25100		ISO 14688	
Наименование грунта	Наименование грунта	Индекс	
Гравелистый песок	Gravel; bouldery, cobble, sandy, silty, clayey gravel	Gr, boGr, coCg, saGr, siGr, clGr	
Крупный песок	Coarse (medium) sand; bouldery, cobble, gravely, silty, clayey coarse (medium) sand	CSa(MSa), boCSa(MSa), coCSa(MSa), grCSa(MSa), siCSa(MSa), clCSa(MSa)	
Песок средней крупности	Medium sand; bouldery, cobble, gravely, silty, clayey medium sand	MSa, boMSa, coMSa, grMSa, siMSa, clMSa	
Мелкий песок	Medium (fine) sand; bouldery, cobble, gravely, silty, clayey medium (fine) sand	MSa(FSa), boMSa(FSa), coMSa(FSa), grMSa(FSa), siMSa(FSa), clMSa(FSa)	
Пылеватый песок	Fine sand; bouldery, cobble, gravely, silty, clayey fine sand; coarse silt	FSa, boFSa, coFSa, grFSa, siFSa, clFSa, CSI	

Таблица 12.5

ГОСТ 25100		ASTM D 2487	
Наименование грунта		Наименование грунта	Индекс
Гравелистый песок		Gravel, gravel with sand	G
		Gravel with silt, gravel with silt and sand	G - GM
		Gravel with clay, gravel with clay and sand	G - GC
		Silty gravel, silty gravel with sand	GM
		Clayey gravel, clayey gravel with sand	GC
		Sand, sand with gravel	S
		Sand with silt, sand with silt and gravel	S - SM
		Sand with clay, sand with clay and gravel	S - SC
		Silty sand, silty sand with gravel	MS
		Clayey sand, clayey sand with gravel	CS
Крупный песок		Medium sand, medium sand with gravel	S
		Medium sand with silt, medium sand with silt and gravel	S - SM
		Medium sand with clay, medium sand with clay and gravel	S - SC
		Silty medium sand, silty medium sand with gravel	MS
		Clayey medium sand, clayey medium sand with gravel	CS



Продолжение таблицы 12.5

Песок средней крупности	Medium (fine) sand, medium (fine) sand with gravel	S
	Medium (fine) sand with silt, medium (fine) sand with silt and gravel	S - SM
	Medium (fine) sand with clay, medium (fine) sand with clay and gravel	S - SC
	Silty medium (fine) sand, silty medium (fine) sand with gravel	MS
	Clayey medium (fine) sand, clayey medium (fine) sand with gravel	CS
	Fine sand, fine sand with gravel	S
Мелкий песок	Fine sand with silt, fine sand with silt and gravel	S - SM
	Fine sand with clay, fine sand with clay and gravel	S - SC
	Silty fine sand, silty fine sand with gravel	MS
	Clayey fine sand, clayey fine sand with gravel	CS
Пылеватый песок	Fine sand, fine sand with gravel	S
	Fine sand with silt, fine sand with silt and gravel	S - SM
	Fine sand with clay, fine sand with clay and gravel	S - SC
	Silty fine sand, silty fine sand with gravel	MS
	Clayey fine sand, clayey fine sand with gravel	CS
	Silt	ML

Наименование тонкодисперсных минеральных и органо-минеральных грунтов (fine graded soils) по стандартам ISO 14688 и ASTM D 2487 проводится с использованием графика пластичности грунтов (Plasticity Chart) (рис. 12.1). Наименование грунта дается на основании положения, которое занимает точка, соответствующая свойствам грунта, на графике.

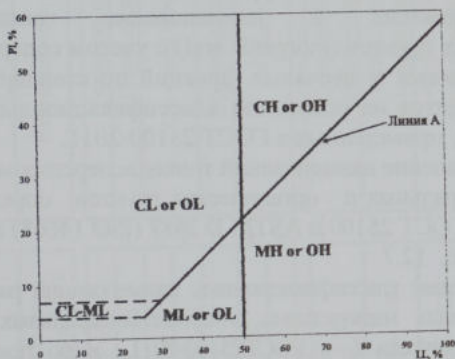


Рис. 12.1. График пластичности грунтов (Plasticity Chart).

Условные обозначения:

CH – fat clay, CL – lean clay, ML – silt, MH – elastic silt, CL-ML – silty clay, OH – organic clay with high plasticity, OL – organic clay with low plasticity. Уравнение линии А:  $PI = 0,73 \times (LL - 20)$

Отнесение грунтов к органическим или неорганическим производится по содержанию в них органического вещества, определяемого при сжигании. При содержании органического вещества менее 5 % грунт относится к минеральным (inorganic soil) и классифицируется, как CH, CL, MH или ML. При содержании органического вещества 5 % и более грунт относится к органо-минеральным (organic soil) и классифицируется, как OH или OL. При содержании неразложившейся органики более 50 % грунт относится к торфам (Pt).

При отсутствии данных о содержании органического вещества грунты подразделяются по величине соотношения  $LL_0/LL_N$ . Если соотношение  $LL_0/LL_N \leq 0,75$ , грунт относится к органическим (organic soil), если более 0,75 – к неорганическим (inorganic soil). Классификация крупнозернистых и песчаных фракций тонкодисперсных грунтов проводится согласно п.12.2.

Классификация и наименование тонкодисперсных минеральных грунтов (inorganic soil) с учетом содержания в них крупнозернистых и песчаных фракций по стандарту ASTM D 2487 проводится на основании классификационных блок-схем (Flow Chart), приведенных в ГОСТ 25100-2011.

Сопоставление наименований тонкодисперсных минеральных, органо-минеральных и органических грунтов, определенных по стандартам ГОСТ 25100 и ASTM D 2487 (ISO 14668) приводится в таблицах 12.6, 12.7.

Соответствие классификационных наименований разновидностей тонкодисперсных минеральных и органо-минеральных грунтов по показателю текучести  $I_L$  в ГОСТ 25100-2011 и по показателю  $I_c$  в стандарте ISO 14668 приведено в таблице 12.8.

Таблица 12.6

ASTM D 2487 (ISO 14688)				ГОСТ 25100	
Наименование грунта	Индекс	Число пластичности $PI$ , %	Показатель текучести $LL$ , %	Наименование грунта	
Fat clay	CH	> 45	> 65	Глина тяжелая	
		28 – 45	45 – 76	Глина легкая	
		19 – 28	50 – 53	Суглинок тяжелый	
		19 – 28	36 – 50	Суглинок легкий	
Lean clay	CL	11 – 19	22 – 45	Супесь	
Silty clay	CL – ML	7 – 11	< 32		
		4 – 7	< 30	Глина тяжелая литифицированная	
Elastic silt	MH	> 53	> 92		
		35 – 53	68 – 114		
		24 – 35	52 – 102		
		< 24	50 – 68		
Silt	ML	15 – 24	41 – 50	Суглинок легкий литифицированный	
		< 15	< 41	Супесь литифицированная	



Таблица 12.7

ASTM D 2487 (ISO 14688)				ГОСТ 25100	
Наименование грунта	Индекс	Число пластичности $PI$ , %	Показатель текучести $LL$ , %	Наименование грунта	
Organic clay with high plasticity	OH	> 47	> 68	Глина тяжелая	
		29 – 47	44 – 98	Глина легкая	
		19 – 29	50 – 62	Суглинок тяжелый	
		13 – 19	50 – 51	Суглинок легкий	
		19 – 29	36 – 50	Суглинок тяжелый	
Organic clay with low plasticity	OL	13 – 19	25 – 50	Суглинок легкий	
		< 13	< 41	Супесь	
Peat	Pt				Торф

Таблица 12.8

ГОСТ 25100		ISO 14688	
Наименование грунта	Показатель текучести $I_L$	Разновидность грунта	Показатель консистенции $I_c$
Супесь	$< 0$	твердая	very stiff
	$0 - 1$	пластичная	very soft - stiff
	$> 1$	текучая	very soft
Суглинок	$< 0$	твердый	very stiff
	$0 - 0,25$	полутвердый	stiff
	$0,25 - 0,5$	тугопластичный	firm - stiff
	$0,5 - 0,75$	мягкопластичный	soft - firm
	$0,75 - 1$	текучепластичный	very soft - firm
	$> 1$	текучий	very soft - soft

Продолжение табл. 12.8

Глина	< 0	твердая		very stiff
	0 – 0,25	полутвердая		stiff
	0,25 – 0,5	тугопластичная		firm – stiff
	0,5 – 0,75	мягкопластичная		firm
	0,75 – 1	текучепластичная		soft – firm
	> 1	текучая		very soft – soft

### Список использованной литературы

1. Картозия Б.А., Котенко Е.А., Петренко Е.В. Строительная геотехнология. Учебное пособие. –М.: МГТУ, 1997. -97 с.
2. Цытович Н.А. Механика грунтов. –М., 1963, - 636 с.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). Учебник. –М., Высшая школа, 1983, - 288 с.
4. Малышев М.В., Болдырев Г.Г. Механика грунтов, основания и фундаменты (в вопросах и ответах). Учебное пособие. М., АСВ, - 2000, -320с.
5. Материалы и изделия для строительства дорог. Справочник. Под ред. Горельшева Н.В. –М., Транспорт, 1986, -288 с.
6. Ухов С.Б. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты. Учебник. М., АСВ, 2000, - 527 с.
7. Зиянгиров Р. С., Роот П. Э., Филимонов С. Д. Практикум по механике грунтов. –М., изд-во МГУ, 1984, - 152 с.
8. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. Учебник. –М., Высшая школа, 1985, -352 с.
9. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика. –М., Стройиздат, 1985, - 480 с.
10. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01–83) / НИИОСП. М., Стройиздат, 1986, - 415с.
11. Неклюдов М.К. Механизация уплотнения грунтов. М., Стройиздат, 1985. – 168 с.
12. Лысенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов. М., «Недра», 1980, - 272 с.
13. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства.
14. СП 11-1058-97. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства.
15. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М. Недра, 1975, 304 с.
16. СНиП 2.02.01 – 83\*. Основания зданий и сооружений.



17. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Учебное пособие для ВУЗов. Л., Недра, 1990, 328 с.
18. Далматов Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты. М., Стройиздат, 1984, - 319с.
19. Швецов Г.И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты. Учебник. -М., Высшая школа, 1987, - 296 с.
20. Шехурдин В.К. Задачник по горным работам, проведению и и креплению горных выработок. -М., «Недра», 1985, -240 с.
21. Слюсаренко С.А. Механика грунтов. Лабораторные работы. -Киев, Вища школа. 1982. -87 с.
22. Грунтоведение и механика грунтов. Методические указания к лабораторным работам (сост. Рузиев А.Р. и др.). - Душанбе, Дониш, 1990, -74.
23. Бирюков Н.С., В.Д. Казарновский, Ю.Л. Мотылев. Методическое пособие по определению физико-механических свойств грунтов. -М, Недра, 1975, 176с.
24. Заручевных И.Ю., Невзоров А.Л. Механика грунтов в схемах и таблицах. Учебное пособие. М., АСВ, - 2007, - 136 с.
25. PUNMIA B.C. Soil mechanics and foundations. 1988, Nagar, Madras.
26. Лабораторные работы по грунтоведению. Под редакцией В.Т. Трофимова, В.А. Королева. -М.: Высшая школа, 2008. - 520 с.

### Ссылка на нормативные документы

1. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
2. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.
3. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
4. ГОСТ 12536-79 (2003). Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
5. ГОСТ 20276-99. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости.
6. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
7. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Методы лабораторного определения максимальной плотности.
8. ГОСТ 23161-78. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности.
9. ГОСТ 24143-80 (1987). Грунты. Метод лабораторного определения характеристик набухания и усадки.
10. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.
11. ГОСТ 25584-90 (с изм. 1 1999). Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации.
12. ГОСТ 28514-90. Строительная геотехника. Определение плотности грунтов методом замещения объема.
13. ГОСТ 28622-90. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости.
14. ГОСТ 30416-96. Грунты. Лабораторные испытания. Общие Положения.
15. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.

### Ссылка на международные стандарты

1. ISO 14688-2:2004 Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil (Геотехнические исследования и испытания – Идентификация и классификация).
2. ASTM D 2487-00 Standard Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes (Метод стандартных испытаний для классификации грунтов для инженерных целей).
3. ISO/TS 17892-6:2004 Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil (Геотехнические исследования и испытания – Лабораторные испытания грунтов).
4. ASTM D 4318-00 Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soil (Метод стандартных испытаний для определения предела текучести, предела пластичности и индекса пластичности грунтов).

ДЛЯ ЗАМЕТОК



**Ахмадхон Рузиев**

**Строительная геотехника и геотехнология.  
Часть I. Геотехнические испытания и расчеты.**

**Учебное пособие.**

Подписано в печать: 24.11.2014 г.  
Формат 60ч84  $\frac{1}{16}$ . Бумага офсетная.  
Объем 15.5 п.л. Гарнитура Times New Roman.  
Тираж 100 экз. Заказ №15

Напечатано в типографии ЗАО «РЕАЛАЙН»  
Республика Таджикистан, г. Душанбе ул. Айни – 46

ISBN 978-99975-830-3-1



9 789997 583031

