

## ГЛАВА 1. СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СОСТОЯНИЕ ГРУНТОВ

### 1.1. ГРУНТОВЫЕ ОСНОВАНИЯ. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГРУНТОВ

Обычно **основание** состоит из нескольких типов грунтов, которые некоторым образом расположены в пространстве. Каждый из типов грунта с одинаковыми свойствами называют **инженерно– геологическим элементом**.

Закономерности состава и строения грунтов связаны с условиями их происхождения (т.е. их **генезисом**). Поэтому происхождение грунтов положено в основу их классификации (ДСТУ Б.В.2.1-2-96 **Грунты. Классификация**).

Все грунты разделяются на две большие группы:

–**естественные** (магматические, осадочные, метаморфические);

–**искусственные** (уплотненные, закрепленные в естественном состоянии, насыпные и намывные).

Детальная классификация и описание различных типов грунтов представлены в курсе “**Инженерная геология**”.

### 1.2. СОСТАВ ГРУНТОВ

Физические и механические свойства грунтов определяются их составом. Этот вопрос изучается в разделе инженерной геологии, который называется **грунтоведением**.

В общем случае грунт состоит из трех компонент (иногда их называют фазами): **твердой, жидкой и газообразной**, которые находятся в постоянном взаимодействии (рис. 1.1).

Ряд исследователей выделяет в грунте **биоту**– живое вещество (т.е. микробов и бактерий). Однако в настоящее время свойства биоты детально не изучены. Поэтому наличие (или отсутствие) биоты в настоящее время в механике грунтов обычно не учитывается.

В природных условиях число компонент грунта может быть менее трех. Например, в жарких странах грунт состоит из двух компонент– твердой и газообразной. При этом ниже уровня подземных вод грунт также состоит из двух компонент - **твердой и жидкой**.

Далее остановимся подробнее на составляющих грунт компонентах.

**I. Твердые частицы грунтов** состоят из **породообразующих минералов**, свойства которых могут существенно различаться. По отношению к воде их делят на три основные группы.

**1. Инертные** (кварц, полевые шпаты, слюда, авгит, кремень, роговая обманка и др.). Грунты, сложенные инертными минералами, обычно обладают хорошими строительными свойствами.

**2. Растворимые** (галит  $\text{NaCl}$ , гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , известняк  $\text{CaCO}_3$  и другие). Растворимые минералы оказывают существенное влияние на свойства грунта. Это объясняется их растворением при увлажнении и далее– **химической суффозией**.

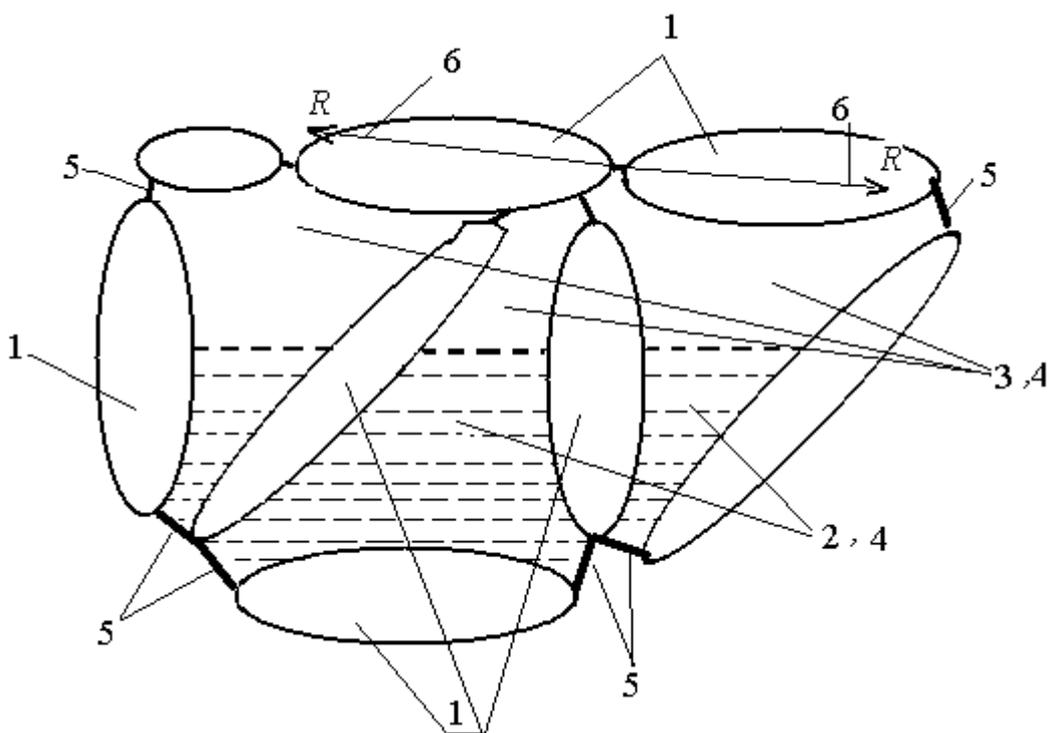


Рис. 1.1. Состав грунта (схема): 1– твердые частицы грунта (твердая фаза); 2– поровая жидкость (жидкая фаза); 3– поровый газ (газообразная фаза); 4– пора; 5– межчастичные связи; 6– реакции на контакте между частицами.

Суть этого явления заключается в следующем. В сухом состоянии частицы грунта скреплены растворимыми минералами (т.е. растворимыми связями). При увлажнении водой связи разрушаются. Вследствие этого грунт теряет прочность и может деформироваться даже от собственного веса (например, лессовые просадочные грунты).

3. **Глинистые минералы** (каолинит, монтмориллонит, иллит и др.). Эти минералы не растворимы в воде, однако, ввиду специфической формы частиц (пластинчатая и игольчатая) и малых размеров (1...2 мкм) они при взаимодействии с водой образуют **коллоидные системы**. Иными словами, глинистые частицы обладают свойством **гидрофильности**.

Особая группа грунтовых частиц состоит из **органического вещества**. Оно представлено в виде микроорганизмов, отмерших корней растений, **гумуса**, нефти, газа и т.д. Гумус повышает коллоидные свойства грунтов.

II. **Жидкая составляющая грунтов**. Свойства оснований существенно зависят от наличия или отсутствия в них воды.

Различают три основных вида состояния воды в грунте:

- кристаллизационная, или химически связанная;**
- связная;**

**–свободная.**

Особой разновидностью грунтовой воды является водяной пар, который по физическим свойствам относится к **газообразной составляющей** грунта. При **отрицательной температуре** вся вода или ее часть может переходить в лед, который является **твердым веществом**.

В воде содержатся растворенные в ней **твердые вещества и газы**. В этой связи на практике мы имеем дело не с химически чистой поровой водой, а с **водными химическими растворами** различных веществ.

Кристаллизационная вода входит в состав **кристаллогидратов** (например, гипса  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , медного купороса  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  и др.). Она входит в **кристаллические решетки** минералов (т.е. находится внутри частиц грунта).

Далее выявим природу **связной воды**. Все твердые частицы грунта имеют те или иные микроскопические и макроскопические дефекты. При проникновении в эти дефекты растворов различных веществ происходит переход ионов водорода с поверхности твердых частиц грунта в раствор. В результате на поверхности тонкодисперсных частиц возникает отрицательный электрический заряд, а вокруг самих частиц образуется электрическое поле.

Молекулы воды в целом электронейтральны, однако, в силу несимметричного расположения в них атомов водорода и кислорода, они являются **диполями**, на одном конце которых расположен положительный, а на другом – отрицательный заряд. Эти заряды расположены на некотором расстоянии друг от друга. Поэтому в зависимости от направления электрического поля диполи могут ориентироваться тем или иным образом.

Электрическое поле на поверхности частиц притягивает **катионы** растворенных в грунте солей, образуя отрицательно заряженные **диффузные оболочки**. По этой причине **молекулы воды** поворачиваются положительно заряженными концами в направлении поверхности частиц.

По мере удаления от поверхности частицы силы **электрмолекулярного взаимодействия** падают, концентрация **катионов** уменьшается и увеличивается концентрация **анионов**. Поэтому силы притяжения молекул воды поверхностью частиц падают практически до нуля. В этой связи различают **прочносвязанную, рыхлосвязанную и свободную** воду (рис. 1.2). Прочносвязанная вода обладает аномальными свойствами, в частности, ее плотность достигает  $1,2...2,4 \text{ г/см}^3$ , она не замерзает при температуре до минус  $100^\circ\text{C}$  и т. д.

На значительном удалении от поверхности частиц грунта силы притяжения ослабевают, и поэтому определяющим становится тепловое движение молекул воды и ионов раствора. Такая вода называется свободной. Ее свойства полностью идентичны свойствам обычной воды.

Рыхлосвязанная вода имеет свойства, промежуточные между

свойствами связанной и свободной воды. Максимальное количество связанной и рыхлосвязанной воды находится в глинах и суглинках. В заключение отметим, что влияние на напряженно- деформированное состояние грунтов связанной и рыхлосвязанной воды изучено слабо и не учитывается в действующих в настоящее время нормативных документах.

В свою очередь, свободную воду подразделяют на **гравитационную** и **капиллярную**.

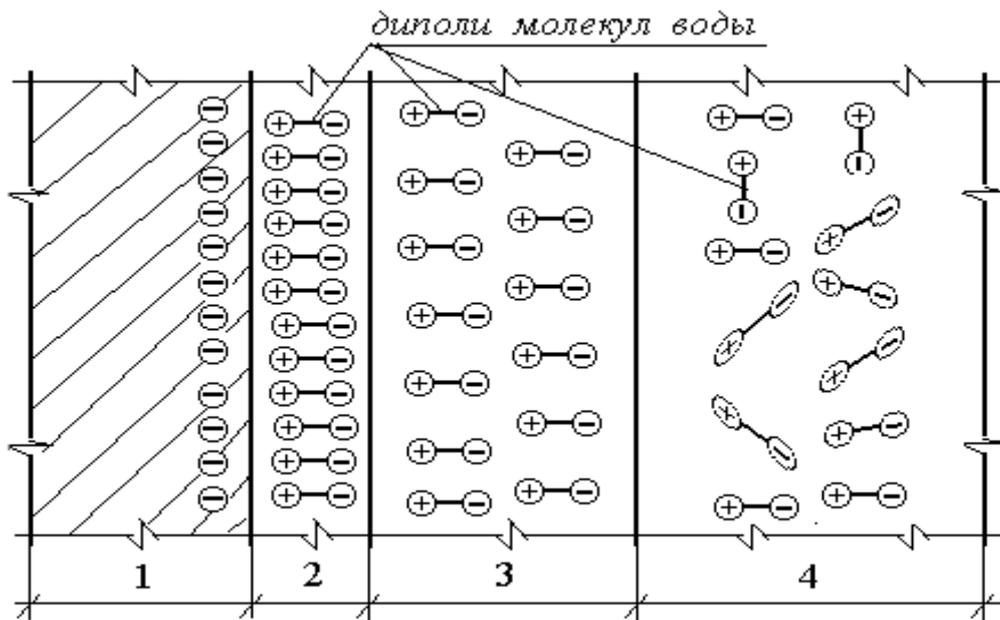


Рис. 1.2. Взаимодействие твердых частиц грунта с водой (схема): 1— твердая частица; 2— прочносвязанная вода; 3— рыхлосвязанная вода; 4— свободная вода.

Природа капиллярной воды такова. Грунтовые поры объединяются в систему капиллярных каналов. За счет смачивания водой их вертикальных стенок и сил поверхностного натяжения в жидкости происходит подъем столба воды на некоторую высоту. Эта высота тем больше, чем меньше радиус капилляра. Говорят, что капиллярная вода образуют водную кайму. Обычно капиллярная вода содержится в песках от средней крупности до пылеватых песков, а также в глинистых грунтах.

Практически вся содержащаяся в грунтах вода относится к **гравитационной**. Этот вид воды подчиняется **законам гидравлики**, в том числе:

- закону Архимеда;
- закону Паскаля;
- закону Бернулли.

В механике грунтов наибольшее распространение получил закон ламинарного течения **Дарси**.

Взаимодействие твердых частиц грунта с водой в значительной мере определяет свойства грунта. Например, при замерзании содержащаяся в грунте вода переходит в твердое состояние (лед) и увеличивается в объеме. В механике грунтов это явление принято называть **морозным пучением**. Имеют место и другие многочисленные примеры взаимодействия твердой и жидкой фаз, которые будут рассмотрены в соответствующих частях курса.

**Газообразная составляющая грунта.** Газ в грунте может находиться в **свободном состоянии** и **растворенном в воде** виде.

В свою очередь, свободный газ подразделяется на **незащемленный** (т.е. сообщающийся с атмосферой), и **защемленный** (т.е. находящийся в замкнутых порах и пузырьках).

Процентное содержание между растворенным в воде и свободным газом не постоянно, поскольку повышение давления или понижение температуры приводит к увеличению количества растворенного газа. При этом понижение давления или повышение температуры приводит к уменьшению количества растворенного в грунтовой воде газа.

Поровый газ существенно влияет на свойства грунта. Например, уменьшение давления при извлечении грунтового образца на поверхность с большой глубины сопровождается выделением пузырьков растворенного в воде газа и далее – разрушением природной структуры грунта. Это, в свою очередь, искажает фактические значения физических, прочностных и деформационных свойств грунта.

В краткой форме изложенные в настоящем разделе материалы можно сформулировать так.

1. В общем случае грунт состоит из твердой, жидкой и газообразной компонент.

2. В каждой из этих трех компонент грунта в том или ином количестве содержатся микроорганизмы.

3. Наиболее стабильной является твердая компонента грунта. В грунтовых основаниях она присутствует всегда.

4. Жидкая компонента грунта (вода) при изменении температуры и давления может переходить в твердое (лед) и газообразное (пар) состояние.

5. Газообразная компонента грунта в зависимости от внешних условий может растворяться в жидкости, выделяться из нее, вытесняться из пор грунта жидкостью и т.д.

Следовательно, свойства грунтов зависят от наличия (или отсутствия) в них жидкой и газообразной компонент. При этом они определяются взаимодействием слагающих его компонент.

### 1.3. ФОРМА, РАЗМЕРЫ И ВЗАИМНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТИЦ В ГРУНТЕ

Твердые частицы образуют **грунтовый скелет**. При этом при прочих равных условиях свойства грунта существенно зависят от их размеров. Поэтому для удобства классификации близкие по крупности частицы объединили в определенные группы (гранулометрические фракции), а этим группам были присвоены соответствующие наименования (табл. 1.1).

Использовать представленные в таблице 1.1 данные для классификации невозможно, поскольку природные грунты состоят из совокупности частиц разного размера. Поэтому поступают так.

1. Из основания отбирают навеску грунта и пропускают ее через систему сит с различными диаметрами ячеек.

2. Остаток грунта на каждом из сит (т.е. навеску) взвешивают.

3. Определяют в процентах отношение веса остатка к общему весу грунта.

4. После этого в зависимости от процентного содержания в грунте частиц того или иного размера выполняют их дальнейшую классификацию (табл. 1.2).

Свойства грунта в значительной мере зависят от их однородности. Для определения неоднородности гранулометрического состава строят так называемые интегральные кривые распределения зерен грунта по размеру. При построении кривых по оси абсцисс откладывают логарифм диаметра частиц, а по оси ординат – их процентное содержание по весу (рис. 1.3). Чем более неоднородным

Таблица 1.1. Классификация частиц грунта по размерам

<b>Наименование частиц</b>	<b>Размер частиц, мм</b>
<b><i>КРУПНООБЛОМОЧНЫЕ</i></b>	
Глыбы и валуны	Более 200
Щебень и галька	200...10
Дресва и гравий	10...2
<b><i>ПЕСЧАНЫЕ</i></b>	
Крупные	2...0,5
Средние	0,5...0,25
Мелкие	0,25...0,10
Тонкие	0,10...0,05
<b><i>ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫЕ</i></b>	
Пылеватые	0,05...0,005
Глинистые	Менее 0,005

является грунт, тем более пологой будет кривая его состава. Гранулометрические кривые позволяют оценить неоднородность зернового состава грунта с качественной точки зрения. Для

количественной оценки неоднородности крупнообломочных и песчаных грунтов используется т.н. степень неоднородности, которая определяется по формуле

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \quad (1.1)$$

Таблица 1.2. Типы грунтов

Тип грунта	Характерный размер частиц, мм	Содержание частиц крупнее характерного размера, % по массе
<b>КРУПНООБЛОМОЧНЫЕ</b>		
Глыбовый (валунный)	200	>50
Щебенистый (галечниковый)	10	>50
Дресвяный (гравийный)	2	>50
<b>ПЕСЧАНЫЕ</b>		
Гравелистый	2	>25
Крупный	0,5	>50
Средний	0,25	>50
Мелкий	0,1	75 и более
Пылеватый	0,1	<75
<b>ГЛИНИСТЫЕ</b>		
Супеси	0,005 ≤	3...10
Суглинки	0,005 ≤	10...30
Глины	0,005 ≤	>30

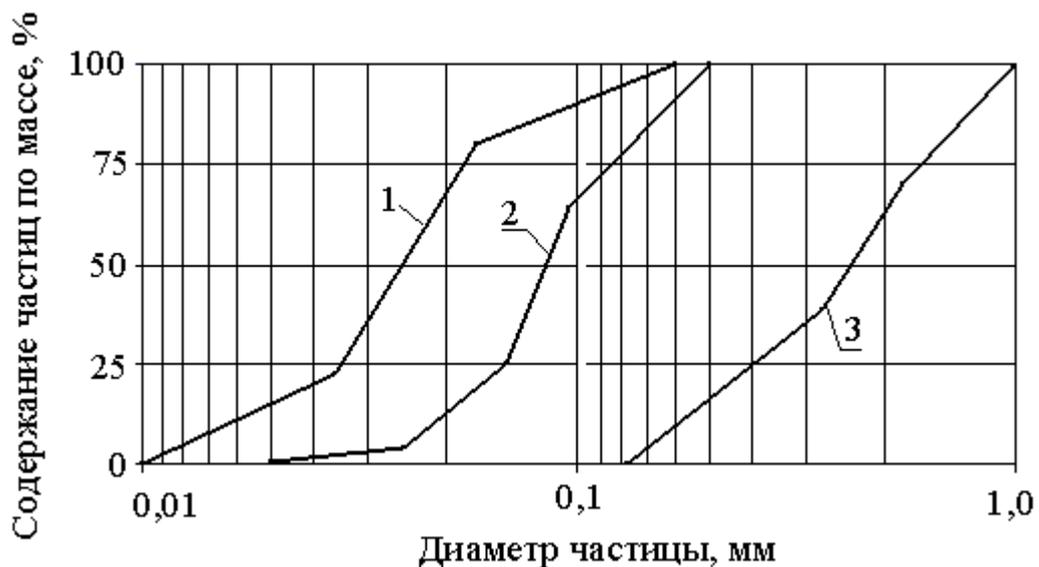


Рис. 1.3. Кривая гранулометрического (зернового) состава песчаного грунта (схема): 1- песок пылеватый; 2- то же, мелкий; 3- то же, крупный.

где  $d_{60}$  и  $d_{10}$  — диаметры частиц, которых в данном грунте по массе

содержится соответственно меньше 60 и меньше 10% частиц а  $C_u$  - степень неоднородности гранулометрического состава.

Чем ближе степень неоднородности  $C_u$  к единице, тем более **однородным** является грунт. При  $C_u > 3$  грунт называют **неоднородным**.

#### 1.4. ПОНЯТИЕ О СТРУКТУРЕ И ТЕКСТУРЕ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ. СВЯЗИ МЕЖДУ ГРУНТОВЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Под **структурой** грунта понимают размеры и форму слагающих его частиц.

Образовавшиеся в течение длительного времени связи на контакте между частицами глинистого грунта с **естественной структурой** делают его свойства существенно отличными от свойств грунта с **искусственной структурой**.

Под **текстурой** понимают взаимное расположение структурных элементов. Необходимость исследования текстуры грунтовых толщ обусловлена тем, что основания обычно состоят из слоев, прослоек и линз, имеющих различную текстуру. Это, в свою очередь, определяет прочность и деформативность основания в целом.

Текстура грунта зависит от условий его формирования и геологической истории, в ходе которой грунт претерпел различные преобразования.

Связи между частицами и агрегатами частиц в грунте называются **структурными связями**.

По своей природе и по прочности они различны. Например, хрупкие **цементационные** связи в **аргиллитах** (сцементированные глины) или **алевролитах** (сцементированные пылеватые грунты) делают их близкими по свойствам к скальным грунтам. При разрушении они не восстанавливаются или восстанавливаются лишь частично по прошествии очень длительного времени, соизмеримого со сроком службы сооружений.

Если частицы глинистого грунта связаны друг с другом **водно-коллоидными связями**, прочность грунта сравнительно невелика. Кроме того, эти связи восстанавливаются через некоторое время после из разрушения. Говорят, что грунты с водно- коллоидными связями обладают **реологическими свойствами**. В строительной практике обычно сталкиваются с такими реологическими свойствами, как **ползучесть** и **релаксация**.

Особое влияние природа связей оказывает на свойства называемых структурно-неустойчивых грунтов (лёсс, засоленные, набухающие, вечномерзлые и другие грунты). Особенностью этих типов грунтов является то, что их связи относительно легко разрушаются при воздействиях, типичных для условий строительства и эксплуатации зданий и сооружений.