

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
ТЕМА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕНЕЗИСЕ, СВОЙСТВАХ И МЕХАНИЗМЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ СКАЛЬНЫХ И НЕСКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ	6
Происхождение грунтов	6
Состав, строение, структура и текстура нескальных (дисперсных) грунтов.....	7
Состав, строение, структура и текстура скальных грунтов.....	7
Состав, строение, структура и текстура нескальных (дисперсных) грунтов.....	9
Классификация грунтов.....	9
Физические характеристики нескальных и скальных грунтов	12
Контрольные вопросы и задания по теме 1	16
ТЕМА 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ПОРОДНЫХ МАССИВАХ	17
Понятия «породный массив», «грунтовый» и «скальный массив»	17
Грунтовые массивы и особенности их механического состояния. Деформируемость и прочность грунтовых массивов. Поведение грунтовых массивов в водонасыщенном состоянии	17
Скальные массивы и особенности их строения. Трещиноватость, блочность, слоистость, неоднородность и анизотропия. Геологическая классификация скальных массивов	18
Геомеханические классификации скальных массивов	21
Масштабный фактор и его влияние на механические свойства скального массива.....	23
Определение деформационных характеристик скальных массивов	25
Определение прочностных характеристик скальных массивов	27
Контрольные вопросы и задания по теме 2	30
ТЕМА 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ПОРОДНЫХ МАССИВАХ	32
Определение напряжений и деформаций в породном массиве при инструментальных методах исследования геомеханических процессов в натуральных условиях	32
Геофизические методы исследования геомеханических процессов	33
Численные методы исследования геомеханических процессов	35
Контрольные вопросы и задания по теме 3	40
ТЕМА 4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СООРУЖЕНИЙ С ПОРОДНЫМИ МАССИВАМИ	41
Модели поведения породного массива. Начальное напряжённое состояние массива пород.....	41
Методика расчёта напряжённно-деформированного состояния массива вокруг незакреплённых выработок	49
Выбор крепи, обеспечивающей устойчивость выработок в породном массиве	52
Геомеханические процессы, вызывающие потерю откосами и природными склонами устойчивости	56
Контрольные вопросы и задания по теме 4	65
УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	66
Исходные данные, объём и состав курсовой работы.....	66
Подготовительный этап.....	66
Описание применяемых материалов и моделей.....	71
Пример выполнения расчётной части курсового проекта.....	73
Анализ результатов расчёта	101
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	108
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	108

ВВЕДЕНИЕ

Геомеханика — наука о механических свойствах и напряжённо-деформированном состоянии горных пород в естественном залегании и о механических процессах и явлениях в них, происходящих под действием природных напряжений и напряжений, вызванных горными или строительными работами.

Целью освоения дисциплины «Геомеханика» является приобретение студентами навыков, знаний и умений, необходимых для самостоятельного творческого решения задач по оценке механического состояния массива скальных или нескальных грунтов, определения его физико-механических характеристик и природного напряжённого состояния.

Дисциплина «Геомеханика» относится к базовой части математического и естественно-научного цикла дисциплин основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) подготовки по специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений, специализация «Строительство подземных сооружений» и является обязательной. «Геомеханика» базируется на знаниях, умениях и навыках, приобретенных студентами в ходе изучения дисциплин «Механика жидкости и газа, основы теплотехники», «Инженерное обеспечение строительства (инженерная геология)», «Прикладная механика (Сопротивление материалов. Теория упругости с основами теории пластичности и ползучести)», «Прикладная механика (Строительная механика)».

Становление геомеханики как научной дисциплины началось с формирования и развития механики горных пород. Механике горных пород, в отличие от классической механики, свойственны специфические методы и области применения, связанные с особенностями горных пород как объекта изучения. В данном курсе предусмотрено изучение аспектов геомеханики, которая тесно связана со строительством подземных сооружений, оснований и фундаментов. Данное направление развивалось совместно с такими научными и практическими дисциплинами, как механика грунтов и механика скальных грунтов, механика подземных сооружений, геотехника.

ТЕМА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕНЕЗИСЕ, СВОЙСТВАХ И МЕХАНИЗМЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ СКАЛЬНЫХ И НЕСКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

Происхождение грунтов

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

По происхождению (генезису) горные породы делятся на магматические, осадочные и метаморфические.

Магматические (изверженные) породы, образовавшиеся в результате застывания магмы, имеют кристаллическую структуру и классифицируются как скальные грунты.

Осадочные породы, образовавшиеся в результате разрушения (выветривания) горных пород и осаждения продуктов выветривания из воды или воздуха, могут быть скальными и нескальными.

Метаморфические породы — это претерпевшие изменения под влиянием высоких температур и больших давлений магматические и осадочные породы — характеризуются наличием жёстких, преимущественно кристаллизационных связей и классифицируются как скальные грунты.

Любая горная порода представляет из себя многокомпонентную систему природного образования, включающую твердую, жидкую и газообразную фазы. Горная порода состоит из минералов, образующих композицию более или менее постоянного и характерного для данной породы состава. Этот состав, а также характер механических связей между минеральными частицами, определяют свойства горных пород. По минералогическому составу различают мономинеральные и полиминеральные породы.

Существуют следующие типы горных пород: текучие — в этих породах частицы минералов способны двигаться с насыщающей их жидкостью (пески-пльвуны); рыхлые зернистые — породы, в которых частицы одного или нескольких минералов не связаны друг с другом (пески, гравий, галька); связные — минеральные частицы в этих породах соединены между собой водно-коллоидной связью. При этом в зависимости от степени насыщения этих пород водой изменяется их пластичность (суглинки, глины); скальные и полускальные — породы, сложенные минеральными твердыми частицами, которые связаны друг с другом жесткими связями, обеспечивающими любой породной отдельности сохранение формы. Если при выделении из горного массива образца такой породы он сохраняет свою целостность и не распадается на части, порода называется ненарушенной.

В зависимости от возраста грунты относят к различным геологическим системам. Самыми молодыми осадочными грунтами являются отложения четвертичной системы (Q). Более древние грунты относятся к следующим системам: неоген (N), палеоген (P), меловая (K), юрская (J), триасовая (T), пермская (P), каменноугольная (C), девонская (D), силурийская (S), ордовикская (O), кембрийская (C). Возраст грунтов назначается в соответствии с Общей стратиграфической шкалой (ОШК), утвержденной Межведомственным стратиграфическим комитетом России (МСК) и является обязательной для использования в геолого-картографических работах на территории Российской Федерации (Стратиграфический кодекс России, 2019).

Состав, строение, структура и текстура нескальных (дисперсных) грунтов

В большинстве случаев верхние слои земной коры сложены крупнообломочными, песчаными, пылевато-глинистыми, а также органогенными и техногенными грунтами. В строительной практике массивы грунтов используются как основание под фундаменты зданий, среда для строительства подземных сооружений, материал для постройки земляных сооружений.

Значительная часть дисперсных грунтов образовалась в результате накопления продуктов физического и химического выветривания коренных пород. Некоторые грунты возникли вследствие отложения органических веществ (торф, ил, сапропель). Грунты могут также создаваться в результате производственной и хозяйственной деятельности человека — техногенные грунты.

Основными компонентами грунтов являются твёрдые частицы минерального и органического происхождения, жидкость (в основном, вода) и газ, соотношение которых определяет многие свойства грунтов.

Свойства грунтов зависят от размеров и минералогического состава слагающих их твёрдых частиц, классифицируемых в зависимости от их размера (см. далее раздел «Классификация грунтов»).

Вода в грунте играет роль при формировании их физико-механических свойств, которые зависят от ее относительного содержания. При этом вода в грунте может находиться в различных состояниях: свободном, физически связанном и химически связанном (кристаллизационном).

Газы в зависимости от их количества и состояния могут влиять на ряд свойств грунтов: увеличивать или уменьшать упругую часть деформации, фильтрационную способность и т.д. Газы в грунтах находятся в свободном, защемлённом и адсорбированном состояниях.

В соответствии с гранулометрическим составом грунта определяют его вид, но это не в полной мере позволяет его охарактеризовать, так как его свойства во многом зависят от структуры (размера и формы частиц) и текстуры (характера расположения частиц в объеме грунта).

Структура крупнообломочных и песчаных грунтов определяется преимущественно формой частиц, которые могут быть угловатыми, полуокатанными, окатанными и пластинчатыми. Для песчаных грунтов характерна зернистая, а для пылевато-глинистых грунтов — сотообразная и хлопьевидная структура.

Текстура грунтов подразумевает характер расположения частиц: слоистая, слитная, сложная и пр.

Подробнее о составе, строении и структуре дисперсных грунтов следует ознакомиться при изучении курса «Механика грунтов», а также специальной литературы (см. [1]–[5]).

Состав, строение, структура и текстура скальных грунтов

Скальные грунты естественного происхождения представляют собой горные породы, которые делятся на три подгруппы:

- магматические (изверженные) породы;
- осадочные породы;
- метаморфические породы.

Магматические породы образуются при застывании магмы либо внутри земной коры, либо после ее извержения. В первом случае они называются интрузивными, или глубинными, во втором — эффузивными, или излившимися.

Глубинные породы формируются в условиях высокой температуры и большого давления внутри земной коры при наличии газов и паров воды. Излившиеся породы образуются в условиях быстрого остывания магмы на поверхности земли при небольшом давлении и невысокой температуре с интенсивным выделением газов и паров воды в атмосферу, в результате чего породы имеют большое количество пор и аморфного стекла. Формирование осадочных пород протекает в течение долгого времени и проходит несколько этапов: разрушение – перенос – формирование. Метаморфические породы образуются в условиях высокого давления и температуры при наличии химически активных газов и растворов в так называемой зоне метаморфизма, которая находится в земной коре под поясом выветривания, где происходит механическое и химическое разрушение магматических и осадочных пород, и поясом цементации, где рыхлые осадки уплотняются, цементируются и преобразуются в осадочные породы.

Все горные породы характеризуются строением, к которому относят размеры, форму, взаимное расположение и способ соединения слагающих их минеральных частиц. Важнейшими признаками строения пород являются их структура и текстура.

Под структурой понимают степень кристаллизации пород (кристаллическое или аморфное их строение), размеры, форму минеральных частиц и характер связей между ними. По степени кристаллизации пород выделяют полнокристаллические и неполнокристаллические (стекловатые, порфировые и обломочные) структуры (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Виды структур скальных пород: *a* — полнокристаллическая; неполнокристаллические: *б* — стекловатая; *в* — порфировая; *г* — обломочная

Полнокристаллическим породам свойственна полная раскристаллизация всех составляющих их минералов. Неполнокристаллические породы состоят частично из кристаллических зерен, частично из аморфной стекловатой цементирующей массы. Стекловатые породы полностью состоят из стекловатой массы. В породах порфировой структуры в общую стекловатую или кристаллическую массу вкраплены крупные зёрна. Породы обломочной структуры состоят из сцементированных обломков первичных пород, из которых они образовались.

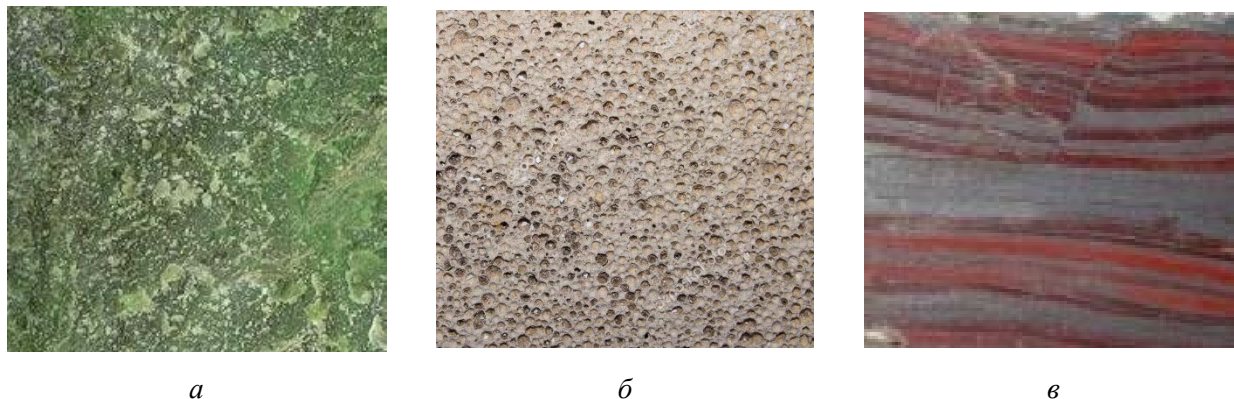


Рис. 1.2. Основные текстуры горных пород: *a* — массивная; *б* — пористая; *в* — слоистая

Помимо структуры, другим важнейшим признаком строения горных пород является их текстура. Под текстурой (сложением) понимается взаимное расположение структурно однотипных частей породы в занимаемом ими пространстве. Текстура может быть упорядоченной и неупорядоченной. Породы упорядоченных текстур обладают обычно анизотропией свойств в различных направлениях, например поперёк напластования и вдоль него. В случае горных пород неупорядоченной структуры (например, массивно-кристаллических) их свойства во всех направлениях практически одинаковы. Одними из наиболее часто встречающихся текстур являются следующие: массивная — минеральные частицы породы плотно прилегают друг к другу либо полностью погружены в цементирующее их вещество, в пространстве их ориентация произвольная; пористая — частицы прилегают друг к другу неплотно, между ними имеется много пустот (пор); слоистая — частицы пород чередуются, образуя слои и напластования (рис. 1.2).

Состав, строение, структура и текстура нескальных (дисперсных) грунтов

Мёрзлый грунт — это грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий в своем составе видимые ледяные включения и/или лед-цемент и характеризующийся криогенными структурными связями. Многолетнемёрзлый грунт (распространен на территории РФ) — грунт, находящийся в мёрзлом состоянии постоянно в течение трех и более лет. Сезонномёрзлый грунт — грунт, находящийся в мёрзлом состоянии периодически в течение холодного сезона. Подробнее по этому вопросу возможно ознакомиться в специальной литературе (см. [5]).

Классификация грунтов

Физические и механические характеристики грунтов изменяются в широких пределах, что требует их классификации.

Классификация грунтов осуществляется в соответствии с ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация построена по принципу:

Класс (подкласс)	– по структурным связям
↓	
Тип (подтип)	– по происхождению
↓	
Вид (подвид)	– по вещественному составу
↓	
Разновидности	– по составу, свойствам и структуре грунтов

Согласно ГОСТ выделяют:

– классы грунтов (по виду структурных связей):

скальный грунт — это грунт, имеющий жёсткие структурные связи кристаллизационного и/или цементационного типа;

дисперсный грунт — это грунт, состоящий из совокупности твёрдых частиц, зёрен, обломков и других элементов, между которыми есть физические, физико-химические или механические структурные связи;

мёрзлый грунт (см. выше).

– основные типы грунтов (по происхождению):

магматические — горные породы, которые образуются при медленном остывании магмы в верхних слоях земной коры, а также при быстром остывании магмы на поверхности земли;

метаморфические — горные породы, которые образуются в недрах земли из горных пород путём их перекристаллизации под воздействием высокого давления, высоких температур, раскалённых газов и горячих водных растворов;

осадочные — горные породы, которые образуются в результате выветривания, перемещения, осаждения и уплотнения продуктов разрушения исходных горных пород;

вулканогенно-осадочные — горные породы, которые образуются из продуктов дробления застывающей лавы при её движении и при осаждении пирокластической массы (пепла, шлаков и др.);

элювиальные — горные породы, которые образуются в результате выветривания и представлены перемещёнными продуктами разрушения;

техногенные — горные породы, которые изменены, перемещены или образованы в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека.

По размерам слагающие дисперсный грунт элементы и их фракции подразделяют в соответствии с табл. 1.1.

Таблица 1.1

Элементы грунта	Фракции	Размер фракций, 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	5–10
	Мелкие	2–5
Песчаные частицы	Грубые	1–2
	Крупные	0,5–1
	Средние	0,25–0,5
	Мелкие	0,10–0,25
Пылеватые частицы	Тонкие	0,05–0,10
	Крупные	0,01–0,05
Глинистые частицы	Мелкие	0,002–0,01
	–	<0,002

По гранулометрическому составу крупнообломочные грунты и пески подразделяют на разновидности в соответствии с табл. 1.2.

Таблица 1.2

Разновидность крупнообломочных грунтов и песков	Размер частиц, мм	Содержание частиц, % по массе
Крупнообломочные:		
– валунный (при преобладании неокатанных частиц — глыбовый)	> 200	> 50
– галечниковый (при неокатанных гранях — щебенистый)	> 10	> 50
– гравийный (при неокатанных гранях — дресвяный)	> 2	> 50
Пески:		
– гравелистый	> 2	> 25
– крупный	> 0,50	> 50
– средней крупности	> 0,25	> 50
– мелкий	> 0,10	≥ 75
– пылеватый	> 0,10	< 75

Глинистые грунты — связные грунты, состоящие в основном из пылеватых и глинистых частиц, с числом пластичности грунта $I_p > 1$ %. По числу пластичности и содержанию песчаных частиц глинистые грунты подразделяют на разновидности в соответствии с табл. 1.3.

Таблица 1.3

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности I_p , %	Содержание песчаных частиц (2–0,05 мм), % по массе
Супесь:		
– песчанистая	$1 \leq I_p \leq 7$	≥ 50
– пылеватая	$1 \leq I_p \leq 7$	< 50
Суглинок:		
– лёгкий песчанистый	$7 < I_p \leq 12$	≥ 40
– лёгкий пылеватый	$7 < I_p \leq 12$	< 40
– тяжёлый песчанистый	$12 < I_p \leq 17$	≥ 40
– тяжёлый пылеватый	$12 < I_p \leq 17$	< 40
Глина:		
– лёгкая песчанистая	$17 < I_p \leq 27$	≥ 40
– лёгкая пылеватая	$17 < I_p \leq 27$	< 40
– тяжёлая	$I_p > 27$	Не регламентируется

По пределу прочности на одноосное сжатие R_c в водонасыщенном состоянии скальные грунты подразделяют на разновидности в соответствии с табл. 1.4.

Таблица 1.4

Разновидность грунтов	Предел прочности на одноосное сжатие R_c , МПа
Скальные:	
– очень прочные	$R_c \geq 120$
– прочные	$120 > R_c \geq 50$
– средней прочности	$50 > R_c \geq 15$
– малопрочные	$15 > R_c \geq 5$
Полускальные:	
– пониженной прочности	$5 > R_c \geq 3$
– низкой прочности	$3 > R_c \geq 1$
– очень низкой прочности	$R_c < 1$

Физические характеристики нескальных и скальных грунтов

Строительные свойства грунтов определяются в основном тремя характеристиками, определяемыми опытным путем: плотностью грунта в естественном состоянии ρ ; плотностью твердых частиц грунта ρ_s и природной влажностью грунта w . Остальные характеристики вычисляются с использованием этих трёх основных характеристик.

Плотность грунта — отношение массы грунта к его объёму — имеет размерность г/см^3 и меняется в пределах 1,5–2,4 г/см^3 :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{(m_s + m_w)}{(V_p + V_s)} \quad (\text{г/см}^3 \text{ или т/м}^3). \quad (1.1)$$

Плотность грунта определяется способом режущего кольца с известным объёмом или взвешиванием в воде образца произвольной формы для определения объёма по весу вытесненной воды. Предварительно образец парафинируется.

Удельный вес грунта, определяется по формуле

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (\text{кН/м}^3), \quad (1.2)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение силы тяжести на Земле.

Удельный вес грунтов колеблется в пределах от 13 до 23 кН/м^3 .

Плотность твёрдых частиц — отношение массы твёрдых частиц к их объёму — зависит от минералогического состава:

$$\rho_s = m_s / V_s \quad (\text{г/см}^3). \quad (1.3)$$

Для грунтов ρ_s меняется в пределах от 2,4 до 3,2 г/см^3 , в том числе для песков — от 2,65 до 2,68 г/см^3 , для супесей — от 2,68 до 2,72 г/см^3 , для суглинков — от 2,68 до 2,75 г/см^3 , а для глин — от 2,71 до 2,76 г/см^3 .

Плотность твёрдых частиц определяется специальным пикнометрическим способом.

Удельный вес твёрдых частиц вычисляется аналогично, т.е.

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g \quad (\text{кН/м}^3). \quad (1.4)$$

Влажность грунта в естественном состоянии — отношение массы воды к массе твёрдых частиц — выражается в долях единицы или в процентах:

$$w = \frac{m_w}{m_s}. \quad (1.5)$$

Влажность определяется с помощью взвешивания массы грунта до и после высушивания в термостате при температуре 105 °С до достижения стабильной массы сухого грунта m_s .

Влажность грунта меняется в пределах от 0,01 до 0,04 (пески, глины, супеси) и от 0,04 до 1 и более (илы, торфы).

На основе трёх основных характеристик ρ , ρ_s , w , определяемых экспериментальным путём, рассчитываются дополнительные характеристики физического состояния грунтов.

Плотностью сухого грунта ρ_d называется отношение массы твёрдых частиц грунта к её объёму ненарушенной структуры до высушивания. Влажность грунта в условном образце объёмом 1 см^3 можно выразить через ρ и ρ_d :

$$w = \frac{(\rho - \rho_d)}{\rho_d}, \quad (1.6)$$

оттуда
$$\rho_d = \rho \cdot (1 + w). \quad (1.7)$$

Удельный вес скелета грунта вычисляется аналогично, т.е.

$$\gamma_d = \rho_d \cdot g. \quad (1.8)$$

Отношение объема пор в образце к объёму самого образца обозначают n и называют пористостью грунта:

$$n = \frac{V_p}{V}. \quad (1.9)$$

Отношение объема твёрдых частиц к объёму образца обозначают m :

$$m = \frac{V_s}{V}. \quad (1.10)$$

Для образца объёмом 1 см^3 величины n и m соответственно будут объёмом пор и твёрдых частиц в единице объёма грунта, т.е. будет выполняться соотношение

$$m + n = 1 \quad \text{или} \quad n = 1 - m. \quad (1.11)$$

Соответственно их выражения через плотности

$$m = \frac{\rho_d}{\rho_s}; \quad n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}. \quad (1.12)$$

Для расчётов часто применяется коэффициент пористости грунта e , равный отношению объёма пор к объёму твёрдых частиц:

$$e = \frac{n}{m} = n \cdot (1 - n) \quad (1.13)$$

или из выражения (1.12)

$$e = \frac{(\rho_s - \rho_d)}{\rho_d}. \quad (1.14)$$

Пористость грунта n и объём твёрдых частиц в единице объёма грунта m можно выразить через коэффициент пористости по формулам:

$$n = \frac{e}{(1 + e)}; \quad m = \frac{1}{(1 + e)}. \quad (1.15)$$

Коэффициент пористости является важнейшей характеристикой грунта и изменяется в широких пределах. Для слабых глинистых грунтов он может быть больше единицы. Для песчаных грунтов e используется как классификационный показатель для характеристики состояния плотности в условиях естественного залегания.

Состояние грунтов по влажности оценивается степенью водонасыщения пор водой S_r , которая определяется как отношение влажности грунта в естественном состоянии к влажности при полном водонасыщении (полной влагоёмкости w_{sat}), т.е. когда все поры заполнены водой:

$$S_r = \frac{w}{w_{sat}} = \frac{w \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w}, \quad (1.16)$$

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

Плотность грунта с учётом взвешивающего действия воды вычисляется по формуле

$$\rho_{sb} = (\rho_s - \rho_w) \cdot (1 - n). \quad (1.17)$$

Удельный вес грунта с учётом взвешивающего действия воды определяется по формуле

$$\gamma_{sb} = (\gamma_s - \gamma_w) \cdot (1 - n). \quad (1.18)$$

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru