



Лекция 4

**ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ
О ГРУНТОВЕДЕНИИ**

Тема 4. ОСНОВЫ ГРУНТОВЕДЕНИЯ



Грунтоведение – наука о грунтах.

Грунты – это горные породы, находящиеся в сфере действия инженерных сооружений. Или по определению академика Е. М. Сергеева: «Грунты - любые горные породы и почвы, которые изучаются как многокомпонентные системы, изменяющиеся во времени с целью познания их как объекта инженерной деятельности человека».

План лекции

1. Определение грунтов
2. Состав и строение грунтов
3. Классификация грунтов по ГОСТ 25100-2011
4. Основные классификационные показатели грунтов
5. Методы укрепления грунтов (техническая мелиорация).

2. СОСТАВ И СТРОЕНИЕ ГРУНТОВ

2.1. Химический и минеральный состав грунтов

Как все горные породы, грунты характеризуются химическим и минеральным составом.



Химический состав определяет свойства и состояние грунтов. При строительстве определяется общий химический состав грунта по солянокислой и водной вытяжкам. Иногда определяют валовый химический состав.

Минеральный состав является наиболее важной характеристикой грунтов. Характеризует как саму породу, так ее состояние и инженерно-геологические свойства. При исследованиях изучают главные и второстепенные породообразующие минералы горных пород.

В зависимости от условий образования горные породы могут быть магматическими, осадочными и метаморфическими. Обладать кристаллизационными и цементационными связями.

Скальные грунты

По ГОСТУ 25100 -2011 грунты делят на скальные, дисперсные (глинистые, песчаные и др.) и мёрзлые.

В магматических породах главные минералы – полевой шпат, кварц, амфиболы и пироксены.



Осадочные породы содержат кварц, полевой шпат, слюды, а также экзогенные минералы – каолинит, монтмориллонит, гипс и др. Известняк, доломит, мергель содержат карбонатные и сульфатные минералы.



Метаморфические породы (гнейсы, кварциты, кристаллические сланцы) по составу отвечают исходным материнским породам и могут содержать кварц, полевой шпат, слюды, гранат, роговую обманку, тремолит, актинолит, хлорит, и др.



Рыхлые и глинистые грунты (пески, супеси, суглинки, глины)

Характеризуются отсутствием жестких связей между частицами и обладают непостоянными физико-механическими свойствами. **Основой рыхлых грунтов являются твердые минеральные частицы, создающие каркас грунтов.** Поры грунтов занимают газы и вода. Твердые частицы бывают минеральные и органические.

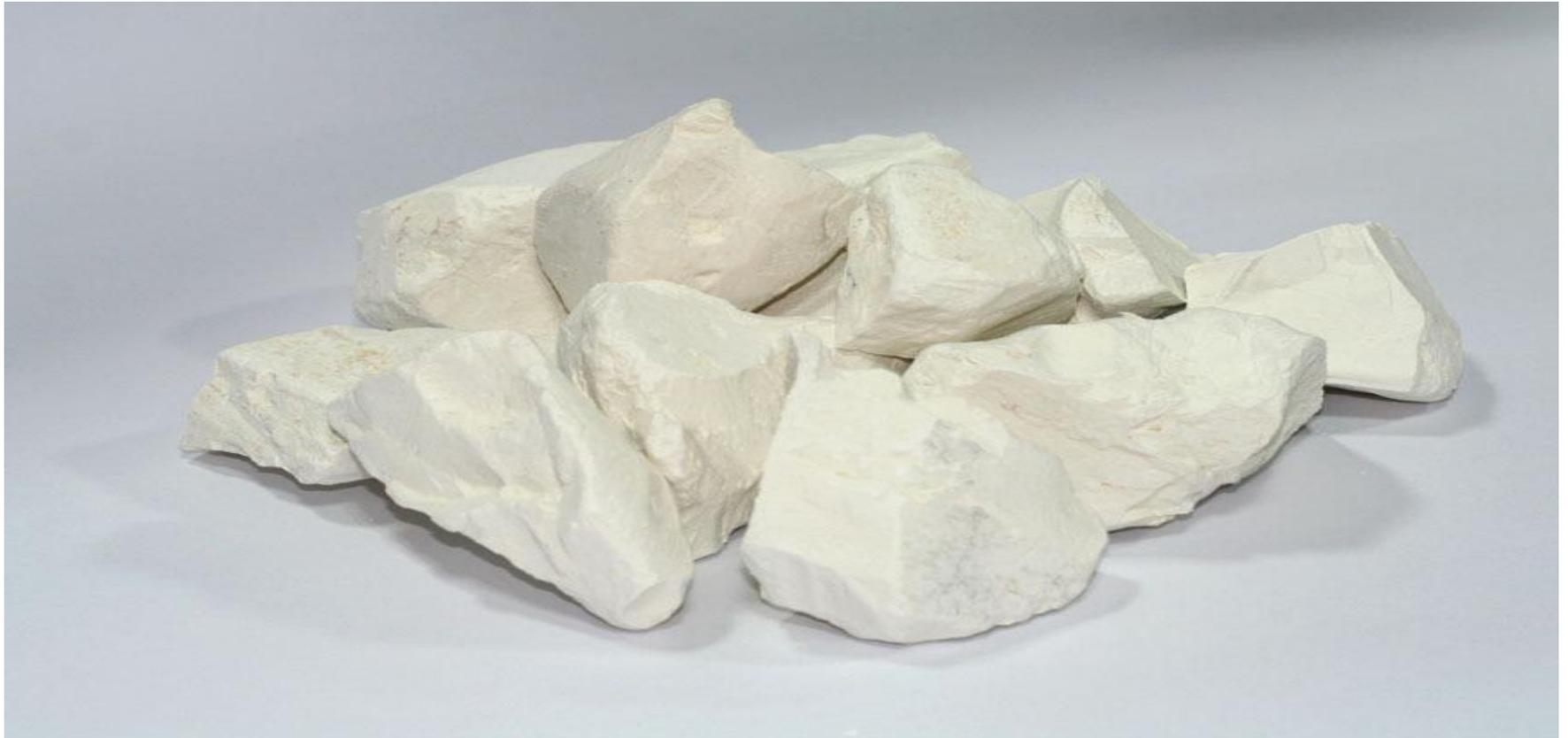
Минеральные частицы состоят из первичных, которые перешли в состав грунта из материнской породы, и вторичных, образовавшихся уже после образования грунта. Первичные представляют собой обломки кварца, чешуйки слюды, вторичные – это глинистые минералы.

Грунты, содержащие органические вещества называются торфом и гумусом.

Грунт характеризуется гранулометрическим составом. Это разделение частиц по крупности зерен. Определяется путем просеивания через сито определенного размера.

Глинистые минералы

По размеру – не более 1-10 мк, слоистые, пластичные. Отличаются высокой дисперсностью, гидрофильностью и способностью к сорбции. Между слоями могут иметь разную прочность. По распространению глинистые минералы подразделяются на: гидрослюда, монтмориллонит, каолинит



Плотность частиц глинистых минералов колеблется от 1,77 до 2,60 г/см³ и выше для монтмориллонита и слюд.

Органическое вещество – важный компонент осадочных горных пород. Чаще это растительные остатки – гумус, угли и др. Обладают высокой влагоемкостью, пластичностью, низкой водопроницаемостью, сильной сжимаемостью, высокой активностью в окислительно-восстановительных процессах. Все это способствует их выветриванию.

2. 2. Строение грунтов

Строение грунтов – это совокупность их текстурно-структурных особенностей.

Структура грунта – размер, форма, характер поверхности, количественное соотношение слагающих его минералов, горных пород, цемента и др.

Текстура – пространственное расположение слагающих элементов грунта.

Минеральные зерна и обломки пород связаны между собой в грунте структурными связями, определяющими прочность породы.

Структурные связи – характеристика горных пород, от которой зависят их свойства и инженерно-геологическое состояние. Связи могут быть **химическими** (минералы и горные породы), **молекулярными** и **ионно-электростатическими** (тонкодисперсные нецементированные породы: глины, илы, мергели и др.). В зависимости от характера молекулярных и ионно-электростатических связей выделяются соответствующие структуры (стабилизационная, коагуляционная и др.).

3. Классификация грунтов по их строительным свойствам

Производится по ГОСТу 25100-2011

**ГРУНТЫ
КЛАССИФИКАЦИЯ
МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОМУ НОРМИРОВАНИЮ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ (МНТКС)
МОСКВА**

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) с участием научно-исследовательского института оснований и подземных сооружений им. Герсеванова (НИИОСП), института по проектированию оснований и фундаментов (Фундаментпроект), государственного дорожного научно-исследовательского института (Союздорнии), научно-исследовательского института транспортного строительства (ЦНИИС) Российской Федерации

ВНЕСЕН Минстроем России

2 ПРИНЯТ Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации и техническому нормированию в строительстве (МНТКС) 19 апреля 1995 г.

За принятие проголосовали:

Наименование государства	Наименование органа государственного управления строительством
Республика Армения	Госупрархитектуры Республики Армения
Республика Казахстан	Минстрой Республики Казахстан
Киргизская Республика	Госстрой Киргизской Республики
Российская Федерация	Минстрой России
Республика Таджикистан	Госстрой Республики Таджикистан
Республика Узбекистан	Госкомархитектстрой Республики Узбекистан

3 ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ с 1 июля 1996 г. в качестве государственного стандарта Российской Федерации Постановлением Минстроя России от 20 февраля 1996 г. № 18-10

4 Взамен ГОСТ 25100-82

ГОСТ 25100-2011
МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
ГРУНТЫ
Классификация
Soils. Classification
Дата введения 2013-01-01
Взамен ГОСТ 25100-95

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт распространяется на все грунты и устанавливает их классификацию, применяемую при производстве инженерно-геологических изысканий, проектировании и строительстве.

К наименованиям грунтов и их характеристикам, предусмотренным настоящим стандартом, допускается вводить дополнительные наименования и характеристики, если это необходимо для более детального подразделения грунтов с учетом природных условий района строительства и специфики отдельных видов строительства.

Дополнительные наименования и характеристики грунтов не должны противоречить классификации, приведенной в настоящем стандарте, и должны основываться на частных классификациях отраслевого и регионального назначения, установленных соответствующими нормативными документами.

В настоящем стандарте грунт рассматривается как однородный по составу, строению и свойствам элемент грунтового массива (образец).

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик

ГОСТ 10650-72 Торф. Метод определения степени разложения

ГОСТ 11306-83 Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности

ГОСТ 12536-79 Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) состава

ГОСТ 23161-78 Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности

ГОСТ 23740-79 Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ

ГОСТ 24143-80 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки

ГОСТ 25584-90 Грунты. Метод лабораторного определения коэффициента фильтрации

4 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1 Классификация грунтов по ГОСТ 25100-2011 включает следующие таксономические единицы, выделяемые по группам признаков:

- класс (подкласс) - по природе структурных связей;
- тип (подтип) - по генезису;
- вид (подвид) - по вещественному, петрографическому или литологическому составу;
- разновидности - по количественным показателям состава, свойств и структуры грунтов.

4.2 Наименования грунтов должны содержать сведения об их геологическом возрасте в соответствии с местными стратиграфическими схемами, принятыми в установленном порядке.

4.3 К характеристикам грунтов по разновидностям, предусмотренным настоящим стандартом, допускается вводить дополнения и изменения в случаях появления новых количественных критериев выделения разновидностей грунтов в результате научно-технических разработок.

5 КЛАССИФИКАЦИЯ ГОСТ 25100-2011

Грунты подразделяются на классы:

Скальные
Дисперсные
Мёрзлые

5.1 Класс скальных грунтов - грунты с жёсткими структурными связями (кристаллизационными и цементационными). По генезису и вещественному составу подразделяют на типы (подтипы), виды (подвиды) и разновидности.

В этот класс входят магматические интрузивные и эффузивные породы, осадочные обломочные сцементированные, химические, биохимические, метаморфические породы, а также элювий скальных грунтов, трещинных зон коры выветривания и техногенные грунты.

5.2 Класс дисперсных грунтов – грунты, обладающие физическими, физико-химическими или механическими структурными связями. Подразделяют на типы и подтипы, виды и подвиды.

5.3 Класс мёрзлых грунтов* - грунты с криогенными структурными связями. Подразделяют на типы, подтипы, виды и подвиды.

*Грунты с отрицательной температурой, не имеющие криогенных структурных связей (не содержащие в своем составе лед), относят к классу природных дисперсных грунтов.

•-----

КЛАСС ПРИРОДНЫХ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ (ГОСТ 25100-95)

Класс	Группы	Подгруппа		Тип		Разновидности	
Скальные (с жесткими структурными связями - кристаллизационными и цементационными)	Скальные	Магматические	Интрузивные	Силикатные	Ультраосновного состава	Выделяются по: 1 пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии; 2 плотности скелета грунта; 3 коэффициенту выветрелости; 4 степени размягчаемости; 5 степени растворимости; 6 степени водопроницаемости; 7 степени засоленности; 8 структуре и текстуре; 9 температуре	
					Основного состава		
					Среднего состава		
					Кислого состава		
					Основного состава		
		Эффузивные	Среднего состава				
			Кислого состава				
			Метаморфические		Силикатные		
					Карбонатные		
					Железистые		
	Полускальные	Осадочные			Силикатные		
					Карбонатные		
		Эффузивные			Силикатные		
			Осадочные			Силикатные	
						Кремнистые	
						Карбонатные	
						Сульфатные	
		Галоидные					

КЛАСС ПРИРОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ

Класс	Группа	Подгруппа	Тип		Вид	Разновидности		
Дисперсные механическими водно-коллоидными структурными связями)	Связные	Осадочные	Минеральные	Силикатные	Глинистые грунты	Выделяются по: 1 гранулометрическому составу (крупнообломочные грунты и пески); 2 числу пластичности и гранулометрическому составу (глинистые грунты и илы); 3 степени неоднородности гранулометрического состава (пески); 4 показателю текучести (глинистые грунты); 5 относительной деформации набухания без нагрузки (глинистые грунты); 6 относительной деформации просадочности (глинистые грунты); 7 коэффициенту водонасыщения (крупнообломочные грунты и пески); крупнообломочные грунты; 12 относительному содержанию органического вещества (пески и глинистые грунты); торфы; 15 степени засоленности; 16 относительной деформации пучения; 17 температуре		
				Карбонатные			Илы Сапропели Заторфованные грунты	
			Железистые	Торфы и др.				
	Полиминеральные		Органо-минеральные					
	Несвязные		Минеральные	Осадочные	Минеральные		Силикатные	Пески Крупнообломочны е грунты
							Карбонатные	
Полиминеральные								

КЛАСС ПРИРОДНЫХ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Класс	Группа	Подгруппа		Тип	Вид	Разновидности		
Мерзлые криогенными структурными связями)	Скальные Полускальные Связные	Промерзшие	Интрузивные Эффузивные Метаморфические Осадочные	Ледяные минеральные	Те же, что и для скальных грунтов	Выделяются по: 1 льдистости за счет видимых ледяных включений; 2 температурно-прочностным свойствам; 3 степени засоленности; 4 криогенной текстуре		
			Эффузивные Осадочные				Ледяные минеральные Ледяные органо-минеральные Ледяные органические	Те же, что и для дисперсных грунтов
			Осадочные					
	Ледяные		Конституционные (внутригрунтовые) Погребенные Пещерно-жильные	Ледяные минеральные Ледяные органо-минеральные Ледяные органические	Ледяные минеральные Ледяные органо-минеральные Ледяные органические		Ледяные минеральные Ледяные органо-минеральные Ледяные органические	Леды сегрегационные, инъекционные, ледниковые Леды - наледные, речные, озерные, морские, донные, инфильтрационные (снежные) Леды - жильные, повторножильные, пещерные

Таким образом, согласно ГОСТу 25100-2011 грунты подразделяются на 3 основных класса:

- 1) Скальные
- 2) Дисперсные;
- 3) Мёрзлые

СКАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ

Структуры с жесткими кристаллическими связями. Например, гранит, известняк, песчаник, гнейс, кварцит и др.



4. Основные классификационные показатели грунтов

Классификационные показатели грунтов - это те показатели механических, физических, водных, химических и других свойств грунтов, по которым они классифицируются для целей строительства. По ним даётся номенклатурное наименование грунтов для строительства.

4.1. Основные показатели свойств и классификационные показатели скальных грунтов

1. **Плотность грунта ρ** – это отношение массы породы, включая массу воды в её порах, к занимаемому породой объёму.

$\rho = m/V$, где ρ – плотность грунта в г/см³ или в кг/ см³, т/ см³ ; m – масса породы с естественной влажностью и сложением; V – объем занимаемой породы, в см³. Плотность зависит от минерального состава грунта, влажности и характера сложения.

2. **Пористость n , %** – это суммарный объем всех пор в единице объема грунта. Определяется по формуле:

$n = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s \times 100$, где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³; ρ_d – плотность сухого грунта, г/см³. Величина пористости зависит от грунта – чем мельче частицы, тем меньше пористость.

Разновидности грунтов по пористости $n, \%$

- Непористый – ≤ 3 ;
- слабо пористый - 3 – 10;
- среднепористый - 10 – 30;
- сильнопористый - > 30 .

3. Коэффициент пористости e . Объёмное соотношение пустот и твёрдых частиц в грунте выражается коэффициентом пористости:

$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$, где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см^3 , ρ_d – плотность сухого грунта, г/см^3 . e применяется для характеристики песчаных грунтов.

4. Плотность сухого грунта (скелета) ρ_d , г/см^3 – плотность грунта г/см^3 , определяемая по формуле :

$\rho_d = \rho / (1 + W)$, где ρ_d – плотность сухого грунта, ρ – плотность грунта, W – влажность грунта, д.е.

Разновидности грунтов по плотности скелета грунта ρ_d :

- Очень плотный $\geq 2,50$
- Плотный 2,50 – 2,10
- Рыхлый 2,10 – 1,20
- Очень рыхлый $< 1,20$

5. Предел прочности грунта на одноосное сжатие R_c , МПа – отношение нагрузки, при которой происходит разрушение образца, к площади первоначального поперечного сечения.

Разновидности грунтов по пределу прочности на одноосное сжатие R_c

Разновидность грунтов	Предел прочности на одноосное сжатие R_c , МПа
Очень прочный	≥ 120
Прочный	120-50
Средней прочности	50-15
Малопрочный	15-5
Пониженной прочности	5-3
Низкой прочности	3-1
Очень низкой прочности	<1

6. Коэффициент размягчаемости в воде K_{sof} д.е. – отношение пределов прочности грунта на одноосное сжатие в водонасыщенном (R_c) и воздушно-сухом (R_{bc}) состоянии:

$$K_{sof} = R_c / R_{bc}$$

Разновидности грунтов по степени размягчаемости в воде K_{sof}

Разновидность грунтов	Коэффициент размягчаемости в воде K_{sof} , д.е.
Неразмягчаемый в воде	$\geq 0,75$
Размягчаемый в воде	<0.75

7. Степень водопроницаемости – характеристика, отражающая способность грунтов пропускать через себя воду и количественно выражающаяся в коэффициенте фильтрации K_{ϕ} , **м/сут**. Определяется по ГОСТ 12536.

Разновидности грунтов по степени водопроницаемости K_{ϕ}

Разновидность грунтов	Коэффициент фильтрации K_{ϕ} м/сут
Неводопроницаемый	$\leq 0,005$
Слабоводопроницаемый	0,005-0,30
Водопроницаемый	0,30-3,0
Сильноводопроницаемый	3,0-30,0
Очень сильноводопроницаемый	>30,0

8. Степень растворимости в воде q_{sr} , г/л

Отражает способность грунтов растворяться в воде

По степени растворимости в воде скальные грунты подразделяются на:

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

9. Коэффициент выветрелости K_{wr}

По коэффициенту выветрелости K_{wr} грунты подразделяются на:

Слабовыветрелые $\geq 0,9 - <1$

Средневыветрелые $0,8-0,9$

Сильновыветрелые $<0,80$.

Таким образом,

Основные классификационные показатели скальных грунтов, используемые при описании:

1. Предел прочности на одноосное сжатие R_c
2. Плотность сухого грунта ρ_d
3. Пористость n
4. Коэффициент выветрелости K_{wr}
5. Коэффициент размягчаемости в воде K_{sof}
6. Степень растворимости в воде q_{sr}
7. Водопроницаемость K_{ϕ}

4.2. Основные классификационные показатели глинистых грунтов

Глинистый грунт – это грунт, состоящий в основном из пылеватых и глинистых (>3%) частиц, обладающий пластичностью ($I_p > 1\%$)

1. Число пластичности, I_p , %:

$$I_p = W_L - W_p, \text{ где}$$

W_L – влажность на границе текучести, %

W_p – влажность на границе раскатывания, %

По числу пластичности выделяют 3 разновидности глинистых грунтов: супесь 1 – 7; суглинок > 7 – 17; глина ≥ 17 .

2. Показатель текучести, I_L :

$$I_L = (W - W_p) / I_p, \text{ где}$$

W – естественная влажность грунта, %

По этому показателю определяют состояние глинистых грунтов и выделяют следующие разновидности:

а) для супеси:

- твёрдая < 0; пластичная 0 – 1,00; текучая > 1,00

б) для суглинков и глин:

- твёрдые < 0;

- полутвёрдые 0 – 0,25;

- тугопластичные > 0,25 – 0,50;

- мягкопластичные > 0,50 – 0,75;

- текучепластичные > 0,75 – 1,00;

- текущие > 1,00

3. Степень морозной пучинистости, ϵ_{fn} ,

Выделяют 5 разновидностей грунтов

Определяется по значению I_L – показателю текучести

Разновидности грунтов по ϵ_{fn}	Значения ϵ_{fn}	Характеристика грунтов
Непучинистые	$< 0,01$	$IL < 0$
Слабопучинистые	$0,01 - 0,035$	$IL = 0 - 0,25$
Среднепучинистые	$> 0,035 - 0,07$	$IL = > 0,25 - 0,50$
Сильнопучинистые	$> 0,07 - 0,1$	$IL = > 0,50$
Чрезмерно пучинистые	$> 0,1$	

4. Относительная деформация просадочности

грунтов, ϵ_{sl}

Выделяют 2 разновидности грунтов:

- просадочные $>$ или $= 0,01$;
- непросадочные $< 0,01$.

5. Относительная деформация набухания грунтов, ϵ_{sw}

Выделяют 2 разновидности грунтов:

- ненабухающий $< 0,04$
- набухающий $>$ или $= 0,04$;

4.3. Основные классификационные показатели песчаных грунтов

Песчаный грунт (песок) - несвязный грунт, в котором масса частиц размер 0,05-2 мм составляет более 50% и число пластичности $I_p < 1\%$

1. Гранулометрический состав, G

По этому показателю выделяют следующие разновидности песков:

- пески гравелистые, если содержание в грунте частиц $> 2 \text{ мм} > 25\%$;
- пески крупные, если содержание в грунте частиц $> 0,5 \text{ мм} > 50\%$;
- пески средней крупности, если содержание частиц $> 0,25 \text{ мм} > 50\%$;
- пески мелкие, если содержание частиц $> 0,1 \text{ мм} > \text{или} = 75\%$;
- пески пылеватые, если содержание частиц $> 0,1 \text{ мм} < 75\%$;

2. Коэффициент пористости, e ; $e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$, где

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см^3

ρ_d - плотность сухого грунта, г/см^3

По коэффициенту пористости песков и выделяют следующие разновидности:

Разновидности по G	Разновидности по e	Значения e
Пески гравелистые, крупные, средней крупности	Плотные	$< 0,55$
	Средней плотности	$0,55 - 0,70$
	Рыхлые	$> 0,70$
Пески мелкие	Плотные	$< 0,60$
	Средней плотности	$0,60 - 0,75$
	Рыхлые	$> 0,75$
Пески пылеватые	Плотные	$< 0,60$
	Средней плотности	$0,60 - 0,80$
	Рыхлые	$> 0,80$

3. Коэффициент водонасыщения, S_r

$$S_r = W \cdot \rho_s / e \cdot \rho_w, \text{ где}$$

W – природная влажность в д.е.; ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³;

ρ_w – плотность воды, г/см³.

По коэффициенту водонасыщения определяют состояние песчаных грунтов и по его значению выделяют разновидности:

- малой степени водонасыщения $< 0,50$
- средней степени водонасыщения $0,50 – 0,80$
- водонасыщенные $> 0,80 – 1.00$

4. Степень морозной пучинистости, ϵ_{fh}

Выделяют 5 разновидностей грунтов:

Разновидности грунтов по ϵ_{fh}	Значения ϵ_{fh}	Характеристика грунтов
Непучинистые	$< 0,01$	Гравелистые, крупные, средней крупности в любом состоянии, мелкие и пылеватые при значении $S_r < 0,60$
Слабопучинистые	$0,01 - 0,035$	Мелкие и пылеватые при значении $S_r > 0,60 - 0,85$
Среднепучинистые	$> 0,035 - 0,07$	Мелкие и пылеватые при значении $S_r > 0,85 - 0,95$
Сильнопучинистые	$> 0,07 - 0,1$	Мелкие и пылеватые при значении $S_r > 0,95$
Чрезмерно пучинистые	$> 0,1$	

4.4. Классификационные показатели крупнообломочных грунтов

Это несвязный грунт, в котором масса частиц крупнее 2 мм составляет >50%

1. Гранулометрический состав, G

По этому показателю выделяют следующие разновидности крупнообломочных грунтов:

- валунно - глыбовый, если содержание в грунте частиц > 200 мм > 50%;
- галечниково - щебёнистый, если содержание частиц > 10 мм > 50%;
- гравийно - дресвяный, если содержание частиц > 2 мм > 50%;

2. Коэффициент водонасыщения $S_r = W \cdot \rho_s / e \cdot \rho_w$, где

ρ_w – плотность воды, г/см³; W – природная влажность в д.е.

По коэффициенту водонасыщения определяют состояние крупнообломочных грунтов и по его значению выделяют разновидности:

- малой степени водонасыщения < 0,50
- средней степени водонасыщения 0,50 – 0,80
- водонасыщенные > 0,80 – 1,00

3. Степень морозной пучинистости, ϵ_{fn} Выделяют следующие разновидности грунтов:

Разновидности грунтов по ϵ_{fn}	Значения ϵ_{fn}	Характеристика грунтов
Непучинистые	< 0,01	без заполнителей и с заполнителем при его содержании до 10%
Слабопучинистые	0,01 - 0,035	С заполнителем глинистым, песком мелким и пылеватым при его содержании от 10 до 30%
Среднепучинистые	> 0,035	С заполнителем глинистым, песком мелким и пылеватым при его содержании > 30%
Сильнопучинистые	> 0,07 – 0,1	
Чрезмерно пучинистые	> 0,1	

5. Методы укрепления грунтов

Укреплением грунтов занимается наука техническая мелиорация.



Все методы по способу воздействия на грунт можно разделить на следующие классы:

1. Методы механической стабилизации грунтов. Основаны на механическом воздействии на грунт. К ним относятся уплотнение, введение в грунт недостающих фракций до грунта оптимального по гранулометрическому составу и другие.
2. Методы химической стабилизации грунтов. Основаны на введении в грунт химических соединений. К ним относятся силикатизация, укрепление солями и другие.
3. Методы укрепления грунтов неорганическими вяжущими. Основаны на введении в грунт вяжущих на минеральной основе. Это – цементация, глинизация, известкование, укрепление молотыми гранулированными шлаками и золами – уноса.
4. Методы укрепления грунтов органическими вяжущими. Основаны на введении в грунт вяжущих на битумной основе. К таким методам относится битуминизация.
5. Термические методы укрепления грунтов. Основаны на сжигании любого вида топлива в грунтах или предварительно пройденных горных выработках. Основной метод – обжиг.

5.1. Характеристика основных методов

1. Уплотнение

Применяется для уменьшения пористости (пустотности) грунтов под воздействием нагрузок. В зависимости от прилагаемой нагрузки выделяют:

- гравитационное уплотнение,
- уплотнение укаткой,
- уплотнение трамбованием.

Гравитационное уплотнение основано на том, что в качестве нагрузки используют грунты песчаные и крупнообломочные грунты без заполнителей.

*Условия применения. **Органоминеральные и органические грунты водонасыщенные (торф, ил, сапрпель и другие).***

Методика. Грунт слоями толщиной до 1 м насыпают на поверхность уплотняемого грунта с перерывами во времени. При этом определяют максимальную плотность сухого грунта ($\rho_{d \max}$) и оптимальную влажность (W_{opt}). Уплотняют до заданной плотности.

Следствие. Происходит отжимание воды из грунта, ликвидируется пористость, увеличивается значение плотности, возрастают значения механических характеристик сцепления, угла внутреннего трения, модуля деформации.

Уплотнение укаткой. Применяются катки весом от 5 до 100 т и более.

*Условия применения. **Песчаные, крупнообломочные рыхлые и техногенные грунты.***

Методика. Уплотнение производится слоями толщиной 20 – 30 см до 40 см. Контроль производится определением максимальной плотности сухого грунта ($\rho_{d \max}$) и оптимальной влажности (W_{opt}). Уплотнение производят до заданной плотности.

Следствие уплотнения укаткой. Происходит уменьшение пористости, водопроницаемости грунтов. Увеличивается плотность, прочность и деформационные характеристики.

Недостаток. Трудоемкость из-за одновременного уплотнения малой толщины слоя грунта.



Уплотнение трамбовками осуществляется с применением железобетонных, чугунных и т. п. трамбовок весом от 3 до 7 т, имеющих вид усеченного конуса с диаметром основания не менее 1 м, устанавливаемых на трамбующих машинах.

Условия применения уплотнения трамбовками. **Техногенные грунты, в том числе антропогенные образования, глинистые карбонатные просадочные, глинистые твердые и полутвердые высокопористые.**

Методика. Трамбовку периодически поднимают на высоту до 4 – 6 м и резко сбрасывают на поверхность уплотняемого грунта. Грунт постоянно увлажняют до оптимальной влажности, которая для глинистых грунтов близка к влажности на границе раскатывания, для песков она характеризуется заполнением пор водой примерно на 70 %. Если начальная природная влажность больше указанных состояний грунтов и отмечается липкость к поверхности трамбовке, то на поверхность уплотняемого грунта насыпают грунт малой степени водонасыщения толщиной 8 – 10 см и продолжают уплотнение до заданной плотности. Толщина одновременно уплотняемого слоя грунта может достигать 3 м.

Следствие. Происходит изменение структуры и текстуры грунтов, уменьшение пористости, увеличивается значение плотности и прочностных характеристик – сцепления, угла внутреннего трения, модуля деформации.

Преимущество данного способа над уплотнением укаткой толщина одновременно уплотняемого слоя 1,5 -3,0 м.

Недостаток. Быстрая изнашиваемость оборудования.

Существуют и другие способы уплотнения – сваями, энергией взрыва и др.

1.1. Введение гранулометрических добавок

Метод основан на введении в грунт недостающих фракций для грунта оптимального по гранулометрическому составу.

Грунт оптимальный по гранулометрическому составу – это грунт, который имеет определенное соотношение частиц определенного размера (фракций), качественно уплотняется, не обладает липкостью, набуханием и слабо размокает.

Оптимальными смесями являются:

- для песчано–глинистых грунтов - песчаных частиц 60 – 80%, мелкообломочных 15 – 35 %, тонкодисперсных (глинистых) 5 – 10 %;
- для крупнообломочных грунтов - крупнообломочных частиц 70 %, песчаных частиц до 20%, глинистых) до 10 %;

Условия применения. Техногенные и природные грунты, служащие основаниями фундаментов или полотном автодорог и не отвечающие грунтам оптимального гранулометрического состава.

Методика. Определяется гранулометрический состав грунтов. При несоответствии оптимальному вводятся добавки в соответствующем количестве. После внесения добавок грунт уплотняется до максимальной плотности скелета при оптимальной влажности.

Результат. Устраняется липкость, усадка, набухание, уменьшается размокаемость, увеличивается несущая способность грунта.

2. Силикатизация

Метод основан на введении в грунт натриевого жидкого стекла $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$.

Условия применения. Глинистые карбонатные просадочные, песчаные рыхлые, песчаные водонасыщенные грунты.

Способы силикатизации:

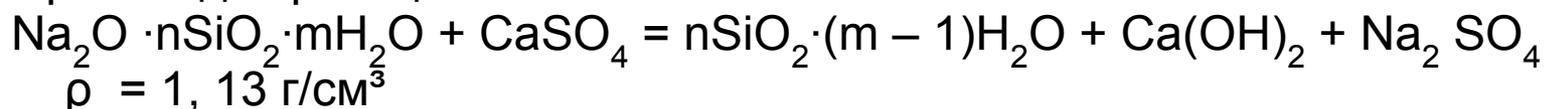
- однорастворная силикатизация;
- двухрастворная силикатизация.

2.1. Однорастворная силикатизация

В грунт закачивается одно химическое соединение - натриево жидкое стекло.

Применяется для укрепления глинистых карбонатных просадочных грунтов.

Происходит реакция:



Образуется гель кремниевой кислоты. Цементация грунты 4 – 10 часов.

Количество гелеобразующего вещества (натриево жидкого стекла) определяется по формуле:

$X = 8 \cdot V \cdot n$, где V – объем закрепляемого грунта в м^3 ; n – пористость грунта %;

$$n = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s,$$

где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см^3 ;

ρ_d – плотность сухого грунта г/см^3 ;

2.2. Двухрастворная силикатизация

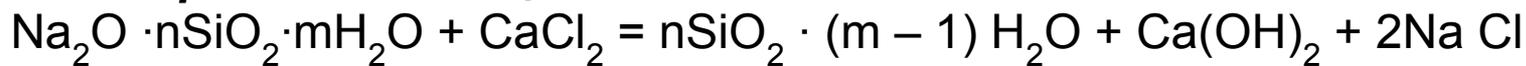
В грунт закачивают катализаторы и натриевое жидкое стекло.

Применяется для закрепления песчаных рыхлых, песчаных водонасыщенных грунтов.

Используют следующие катализаторы:

- хлористый кальций CaCl_2 с плотностью 1,26 – 1,28 г/см³.
- концентрированную фосфорную кислоту H_3PO_4

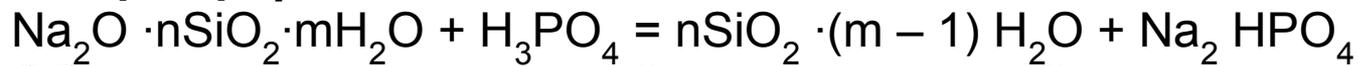
1) Для закрепления песчаных рыхлых грунтов применяют **хлористый кальций**



Образуется гель кремниевой кислоты, который цементирует грунты за 6 – 8 часов.

Количество гелеобразующего вещества (натриевого жидкого стекла и хлористого кальция) определяется по формуле $X = 5 \cdot V \cdot n$ при соотношении стекла и хлористого кальция 3 : 1.

2) Для закрепления песчаных водонасыщенных грунтов применяется **фосфорная кислота**



Образуется гель кремниевой кислоты, который цементирует грунты за 6 – 8 часов.

Количество гелеобразующего вещества (натриевого жидкого стекла и фосфорной кислоты) определяется по формуле $X = 15 \cdot V \cdot n$ при соотношении стекла и фосфорной кислоты 3 : 1.

Методика производства силикатизации

1. Бурят скважины в шахматном порядке:
расстояние между рядами $d = 1,5 r$
расстояние между скважинами в ряду $d = 1,73 r$,
где r радиус закрепления грунтов изменяется от 0,3 до 1,0 м в зависимости от коэффициента фильтрации.
2. В скважины под давлением 2 – 3 МПа поочередно нагнетают химические соединения.
3. Проводят контроль. Контроль закрепления грунтов контролируется отбором проб на определение значения предела прочности на одноосное сжатие (R_c). Значение этого показателя должно быть 5 – 6 МПа.

Результат закрепления

Образующийся гидрогель кремниевой кислоты, цементирует грунты, изменяет структурные связи с уменьшением пористости, водопроницаемости, повышением прочности до R_c 5 – 6 МПа.



3. Цементация

В основе метода - нагнетание в грунт суспензий водно–цементного состава в соотношениях от 1 : 1 до 10 : 1 в зависимости от размера пор в грунте.

Условия применения. Скальные трещиноватые, пески крупные гравелистые, заполнение карстовых пустот, устройство временных и постоянных противофильтрационных завес под сооружениями.

Методика. На участке распространения грунтов, требующих закрепления, проходятся скважины диаметром 30 – 200 мм с расстоянием от 1 до 3 м в зависимости от водопроницаемости. Под давлением гидравлическим или пневматическим водно - цементный раствор нужной консистенции нагнетается или во всю скважину, пробуренную до проектной отметки укрепления. Марка цемента назначается в зависимости от степени агрессивности водной среды.

Следствие цементации. Меняются структурные связи грунтов, образуется камнеподобный массив, ликвидируется пустотность, значительно уменьшается водопроницаемость, увеличивается плотность и несущая способность.



4. Битуминизация

Метод основан на введении в грунт вязко– жидких битумов в виде эмульсий или паст. Различают горячую и холодную битуминизацию.

Горячая битуминизация

В специально пробуренные скважины в грунте нагнетают битум с температурой 150 – 180°C, который заполняет пустоты, вытесняет воду и застывает. Грунт становится неводопроницаемым.

Условия применения. Скальные трещиноватые, пески крупные, гравелистые с коэффициентом фильтрации более 10 м/сут. для уменьшения их водопроницаемости.

Методика. Битум нагнетают в скважины, пробуренные через 0,75 – 1,5 м. Для повышения качества закрепления производят холодную битуминизацию.

Результат. Значительно уменьшается водопроницаемость грунтов.

Холодная битуминизация

Вводят в грунт холодные эмульсии состава: вода + частицы битума размером 1-30 мк + коагулятор CaCl₂ +ПАВ

Условия применения. Дозаполнение пустот после горячей битуминизации, закрепление и гидроизоляция песчаных грунтов с коэффициентом фильтрации 10 – 100 м/сут, в том числе пlyingунов, гидроизоляция конструкций, соприкасающихся с грунтами.

Методика. Битум нагнетают в скважины, пробуренные через 0,5 – 3,5 м.

Следствие. Грунты и конструкции приобретают водоотталкивающие свойства.

5. Обжиг

Метод основан на сжигании горючих веществ любого вида с частичным спеканием грунтов.

Различают:

- поверхностный обжиг
- глубинный.

Условия применения. Глинистые карбонатные просадочные, глинистые твердые и полутвердые высокопористые грунты.

В результате обжига грунты меняют структурные связи и приобретают прочность с $R_c = 5 - 6$ МПа.