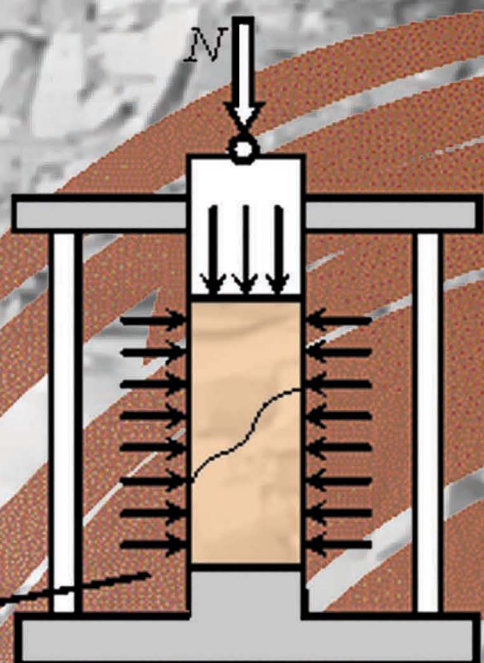
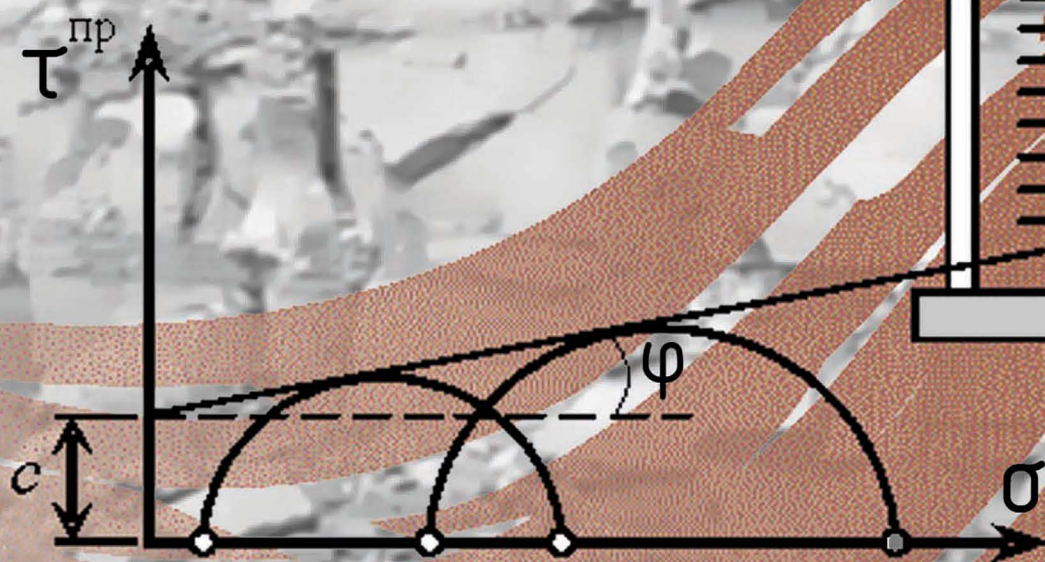


И.Ю. ЗАРУЧЕВНЫХ  
А.Л. НЕВЗОРОВ

# МЕХАНИКА СХЕМАХ ТАБЛИЦАХ ГРУНТОВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



**И.Ю. Заручевных**

**А.Л. Невзоров**

# **МЕХАНИКА ГРУНТОВ В СХЕМАХ И ТАБЛИЦАХ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ  
по образованию в области строительства  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по направлению 653500 «Строительство»*

Издание второе исправленное и дополненное



Издательство Ассоциации строительных вузов

Москва 2011

УДК 624.131.6

ББК 38.58

3 34

Рецензенты:

Кандидат технических наук, профессор  
кафедры механики грунтов, оснований и фундаментов  
Московского государственного строительного университета

*Н.С. Никитина*

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой строительного производства  
Пермского государственного технического университета

*А.Б. Пономарев*

**Заручевных И.Ю., А.Л. Невзоров**

3 34 Механика грунтов в схемах и таблицах: Учебное пособие. – 2-е изд. испр. и доп. /.  
– М.: Издательство АСВ, 2011. – 136 с.: ил.

ISBN 978-5-93093-528-8

Подготовлено кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов Архангельского государственного технического университета.

В пособии представлены логические схемы, основной иллюстративный материал лекционного курса (схемы приборов и устройств, графики) и справочные таблицы. Приведены примеры решения задач, вопросы для контроля знаний и словарь терминов и определений.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 653500 «Строительство».

Библиогр. 35 назв.

УДК 624.131.6

ББК 38.58

**ISBN 978-5-93093-528-8**

© Издательство АСВ, 2011

© Архангельский государственный  
технический университет, 2011

© Заручевных И.Ю., Невзоров А.Л., 2011

## ВВЕДЕНИЕ

Объектом изучения механики грунтов являются грунты, используемые в качестве основания, среды или материала сооружений. Эта дисциплина вооружает инженеров-строителей знанием деформационных и прочностных свойств грунтов, учит оценивать напряженно-деформированное состояние и устойчивость их массивов при проектировании фундаментов и подземных сооружений, расчетах откосов, подпорных стен и др.

Очень важно при изучении механики грунтов не просто научиться применять те или иные формулы или таблицы, а понять физический смысл процессов и явлений, особенности распределения напряжений, причины развития деформаций, границы применимости расчетных моделей. Тем более что задачи, решаемые в рамках этой дисциплины, все время усложняются: строительство ведется рядом с существующими зданиями, как правило, в неблагоприятных инженерно-геологических условиях; осваивается подземное пространство городов.

К сожалению, приходится констатировать, что число часов, выделяемых на изучение дисциплины образовательными стандартами, постоянно сокращается. Добиться качественной подготовки студентов можно за счет использования современных информационных технологий при проведении занятий, в частности чтении лекций, а также активизации самостоятельной работы студентов.

Настоящее пособие содержит основной материал лекционного курса (схемы, графики, формулы), справочные таблицы, логические схемы, которые должны помочь студенту при самостоятельной подготовке. Пособие может быть также использовано во время лекций, когда изложение материала ведется с помощью мультимедийного проектора в достаточно быстром темпе.

Следует обратить внимание студентов, что пособие не заменяет учебники Б.И. Далматова [1], Н.Н. Маслова [2, 3], В.А. Флорина [4], Н.А. Цытовича [5], Б.С. Ухова [6].

## ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

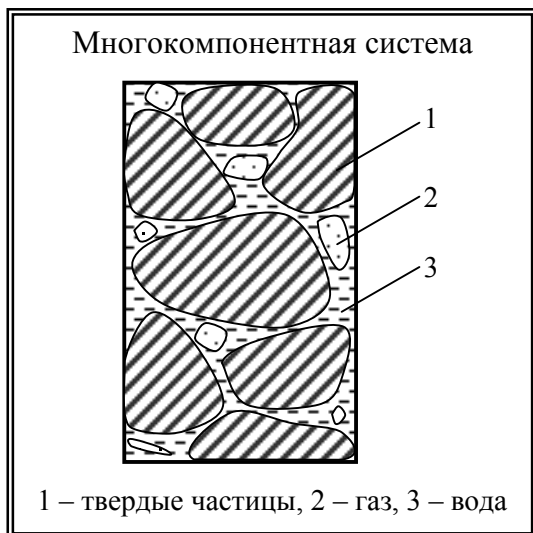
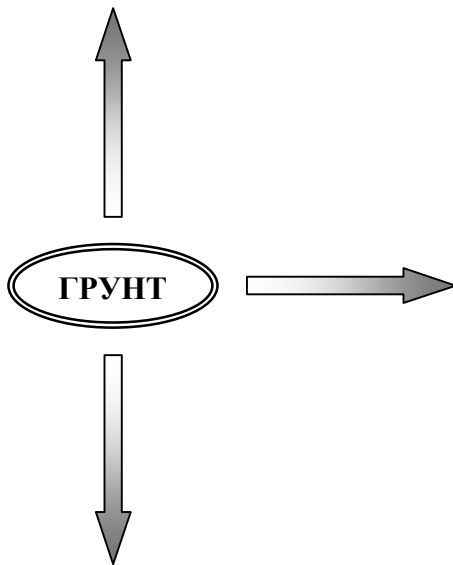
Обозначения в данном учебном пособии приняты в соответствии с действующими нормативными документами (ГОСТами, СНиПами). Ниже приведены основные из них. Редко употребляемые обозначения приведены в расшифровках формул. Часть символов используется для обозначения двух и более величин.

$A$ – площадь штампа, фундамента, поперечного сечения образца	$I_{от}$ – относительное содержание органических веществ
$A_i$ – содержание частиц крупнее определенного размера (полный остаток на сите)	$I_p$ – число пластичности
$a$ – заложение откоса	$k_{com}$ – коэффициент уплотнения
$a_i$ – частный остаток на сите	$k_f$ – коэффициент фильтрации
$b$ – ширина подошвы фундамента	$k_{st}$ – коэффициент запаса устойчивости
$c$ – удельное сцепление грунта	$L_i$ – содержание частиц мельче определенного размера
$c_c$ – коэффициент компрессии	$l$ – длина пути фильтрации, длина подошвы фундамента
$c_u$ – степень неоднородности (по гранулометрическому составу)	$M$ – момент
$c_r, c_v$ – коэффициент консолидации при фильтрации воды соответственно в горизонтальном и вертикальном направлении	$m$ – масса грунта
$D$ – диаметр штампа	$m_a$ – масса газа
$d$ – глубина заложения фундамента от уровня планировки, размер частиц	$m_s$ – масса твердых частиц
$d_n$ – глубина заложения фундамента от поверхности природного рельефа	$m_{\omega}$ – масса воды
$d_{60}, d_{10}$ – диаметры частиц, соответствующие содержанию 60 и 10 %	$m_v$ – коэффициент относительной сжимаемости
$E$ – модуль деформации	$N$ – вертикальная нагрузка (сила)
$e$ – коэффициент пористости	$p$ – среднее давление под подошвой фундамента или штампа
$e_0$ – начальный коэффициент пористости	$p_{кр}$ – критическое давление на основание
$f$ – коэффициент трения	$p_{пр}$ – предельное давление на основание
$G$ – вес	$p_{1/4}$ – давление под подошвой фундамента при развитии зон пластических деформаций на глубину $z = 1/4 b$
$g$ – ускорение свободного падения	$q$ – равномерно распределенная вертикальная пригрузка
$H_c$ – мощность сжимаемой толщи	$q_d$ – условное динамическое сопротивление грунта погружению зонда
$h$ – мощность (толщина) слоя	$q_s$ – удельное сопротивление грунта под наконечником зонда при испытании статическим зондированием
$h_0$ – начальная высота образца	$R$ – расчетное сопротивление грунта основания
$h_3$ – мощность эквивалентного слоя грунта	$S$ – падение столба воды
$I$ – градиент напора	$S_r$ – степень влажности (коэффициент водонасыщения)
$I_0$ – начальный градиент напора	$s$ – вертикальная деформация (осадка)
$I_L$ – показатель текучести	$T$ – горизонтальная нагрузка (сила)

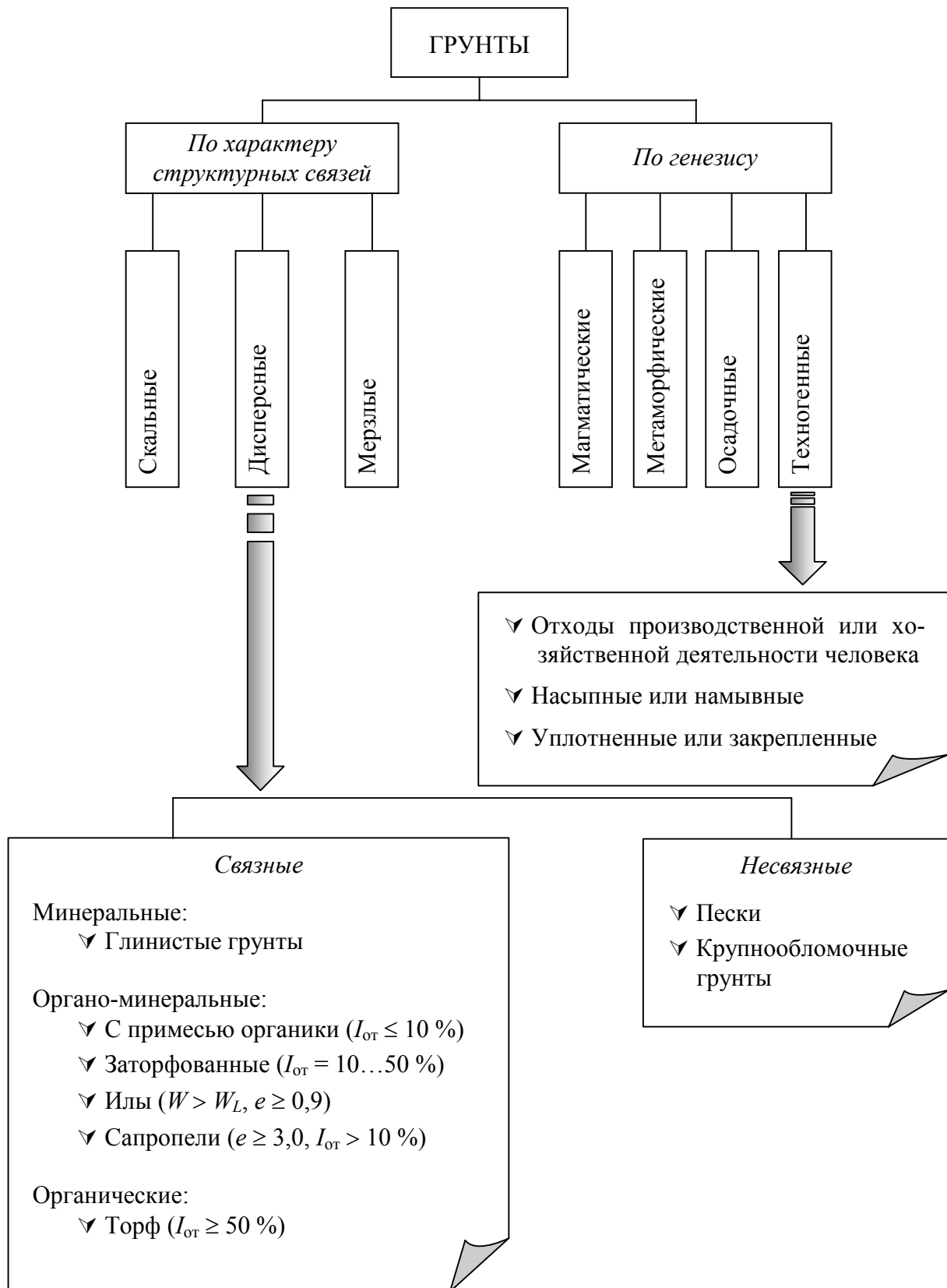
$t$	– время, температура	$\omega$	– коэффициент, зависящий от формы штампа
$t_{90}$	– время, соответствующее 90 % первичной консолидации	$\xi$	– коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя
$t_{st}$	– время стабилизации	$\sigma$	– нормальное напряжение
$V$	– объем образца	$\sigma_1, \sigma_2$	– главные нормальные напряжения
$V_a$	– объем газа	$\sigma_s$	– напряжение в скелете грунта (эффективное давление)
$V_s$	– объем твердых частиц	$\sigma_z$	– вертикальное нормальное напряжение
$V_w$	– объем воды	$\sigma_{zN}$	– вертикальное нормальное сжимающее напряжение от сосредоточенной силы
$v$	– скорость фильтрации	$\sigma_{zg}$	– вертикальное нормальное сжимающее напряжение от собственного веса грунта (бытовое давление)
$W$	– природная влажность	$\sigma_{xg}$	– горизонтальное нормальное сжимающее напряжение от собственного веса грунта
$W_{opt}$	– оптимальная влажность грунта	$\sigma_{zp}$	– вертикальное нормальное сжимающее напряжение от равномерно распределенной нагрузки
$W_p$	– влажность на границе пластичности (раскатывания)	$\sigma_{ha}$	– активное давление грунта
$W_{sat}$	– влажность при полном насыщении	$\sigma_{hp}$	– пассивное давление грунта
$W_L$	– влажность на границе текучести	$\sigma_w$	– давление в поровой воде (нейтральное давление)
$z$	– глубина	$\tau$	– касательное напряжение (напряжение сдвига)
$\alpha$	– коэффициент при расчете напряжений, угол естественного откоса	$\tau^{np}$	– предельное сопротивление сдвигу
$\beta$	– коэффициент, учитывающий отсутствие поперечных деформаций в компрессионном приборе	$\varphi$	– угол внутреннего трения
$\varepsilon$	– относительная деформация	$DL$	– отметка планировки
$\theta$	– крутизна откоса	$NL$	– отметка поверхности природного рельефа
$\gamma$	– удельный вес грунта	$FL$	– отметка подошвы фундамента
$\gamma_d$	– удельный вес грунта в сухом состоянии (скелета грунта)	$WL$	– уровень подземных вод
$\gamma_s$	– удельный вес частиц грунта	$BC$	– нижняя граница сжимаемой толщи
$\gamma_{sb}$	– удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды		
$\gamma_{sat}$	– удельный вес грунта при полном насыщении		
$\gamma_w$	– удельный вес воды		
$\nu$	– коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации)		
$\rho$	– плотность грунта		
$\rho_d$	– плотность грунта в сухом состоянии (скелета грунта)		
$\rho_s$	– плотность частиц грунта		
$\rho_w$	– плотность воды		

# 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ (ПОНЯТИЕ) ГРУНТА

Горные породы  
(скальные, дисперсные, мерзлые)  
Почвы  
Техногенные образования



## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ по ГОСТ 25100–95 «Грунты. Классификация»





## Виды осадочных отложений по генезису

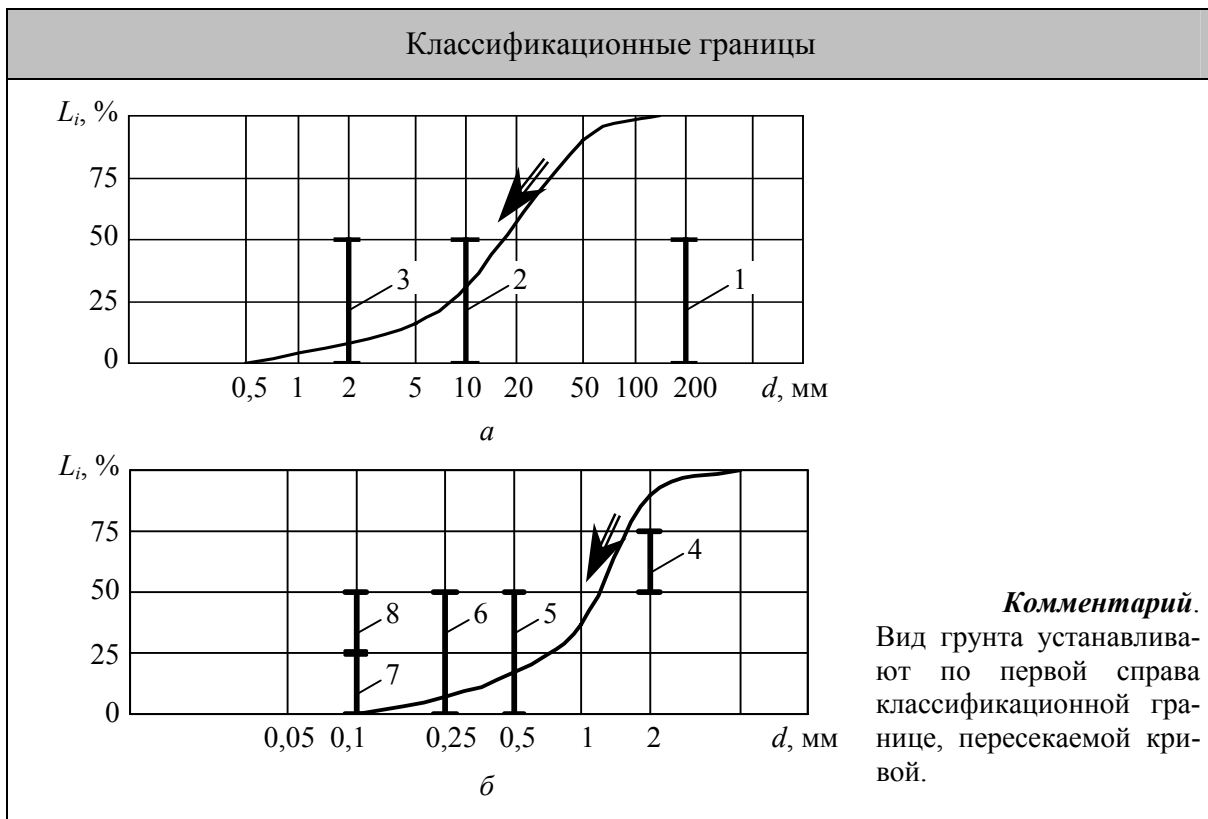
Условное обозначение	Происхождение (генезис)
<i>a</i>	<b>Аллювиальные</b> – отложения постоянно действующих водотоков (рек, крупных ручьев); подразделяются на русловые (преимущественно пески и галечниковые грунты), пойменные (как правило, суглинки), старичные (ил, торф)
<i>m</i>	<b>Морские</b> – отложения морей; подразделяются на прибрежные, или литоральные (песок, гравий, галька); шельфовые (ил, известняк); осадки ложа океана или абиссальные (ил)
<i>e</i>	<b>Элювиальные</b> – продукты выветривания скальных горных пород, оставшиеся на месте образования и сохранившие в той или иной степени структуру и текстуру исходных пород (супеси, пылеватые пески, реже суглинки с примесями дресвы и щебня)
<i>v</i>	<b>Эоловые</b> – продукты осаждения частиц, переносимых ветром (пески, лессы)
<i>p</i>	<b>Проллювиальные</b> – отложения в зоне конуса выноса временных или постоянных водотоков (крупнообломочные породы с примесью песка и глины)
<i>l</i>	<b>Озерные</b> – образуются осаждением частиц на дне озер (сапропели, илы)
<i>d</i>	<b>Делювиальные</b> – отложения, перенесенные к основанию склона дождевыми и талыми водами (песчаные и глинистые грунты с включениями гальки и щебня)
<i>g</i>	<b>Ледниковые</b> – отложения рыхлых пород, перенесенных ледником (от песков до суглинков с прослойками и включениями разного состава)
<i>f</i>	<b>Флювиогляциальные</b> (водно-ледниковые) – отложения, сформировавшиеся потоками воды, образующимися при таянии ледника (пески, реже супеси, суглинки, гравий и галька)
<i>lg</i>	<b>Лимногляциальные</b> (озерно-ледниковые) – отложения, образовавшиеся на дне ледниковых озер (илы, ленточные слоистые глины)

## Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов по гранулометрическому составу

Просеив пробу через набор стандартных сит, последовательно определяют:

$$a_i, \text{ г} \quad \Leftrightarrow \quad a_i, \% \quad \Leftrightarrow \quad A_i, \% \quad \Leftrightarrow \quad L_i, \%$$

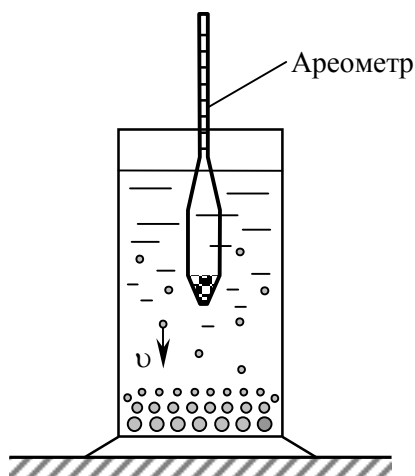
Содержание частиц $A_i$ крупнее размера $d$		Вид грунта
$d, \text{ мм}$	$A_i, \%$	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 5px;">↓</div> <div style="text-align: right;"> <math>&gt; 200</math>  <math>&gt; 10</math>  <math>&gt; 2</math> </div> </div>	$> 50$ $> 50$ $> 50$	<b>Крупнообломочный (рис. а):</b> валунный (глыбовый) <b>1</b> галечниковый (щебенистый) <b>2</b> гравийный (дресвяный) <b>3</b>  <b>Песок (рис. б):</b> гравелистый <b>4</b> крупный <b>5</b> средней крупности <b>6</b> мелкий <b>7</b> пылеватый <b>8</b>
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 5px;">↓</div> <div style="text-align: right;"> <math>&gt; 2</math>  <math>&gt; 0,5</math>  <math>&gt; 0,25</math>  <math>&gt; 0,1</math>  <math>&gt; 0,1</math> </div> </div>	$> 25$ $> 50$ $> 50$ $\geq 75$ $< 75$	



$c_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	при $c_u \leq 3$ – однородные $c_u > 3$ – неоднородные
-------------------------------	---

## Классификация глинистых грунтов

### По гранулометрическому составу



Метод седиментации (по скорости погружения частиц в неподвижной воде  $v$ ):

$$\rho_{sus} = f(t) \Rightarrow L_i = f(\rho_{sus})$$

Формула Стокса: 
$$d = \sqrt{\frac{1}{k} v \eta}$$

$\rho_{sus}$  – плотность суспензии, г/см<sup>3</sup>

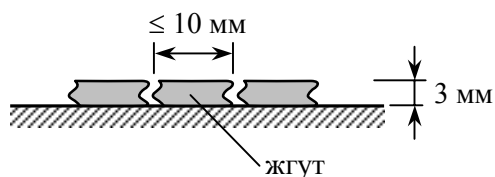
$t$  – время взятия отсчета, с

$$k = \frac{g}{18} (\rho_s - \rho_w) = 54,5 (\rho_s - \rho_w)$$

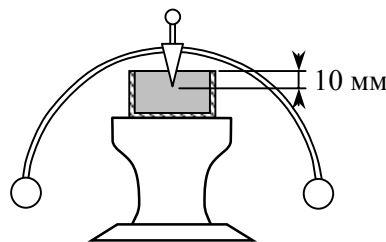
$\eta$  – вязкость воды, г с/см

### По показателям пластичности

**Граница пластичности (раскатывания)  $W_p$**



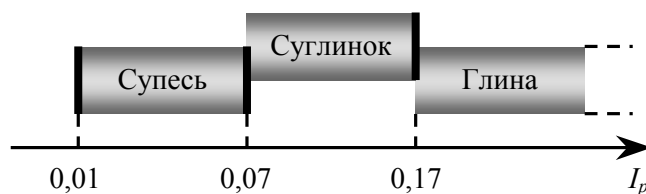
**Граница текучести  $W_L$**



Балансирный конус А.М. Васильева

**Число пластичности:**

$$I_p = W_L - W_p$$



**Показатель текучести:**

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p}$$

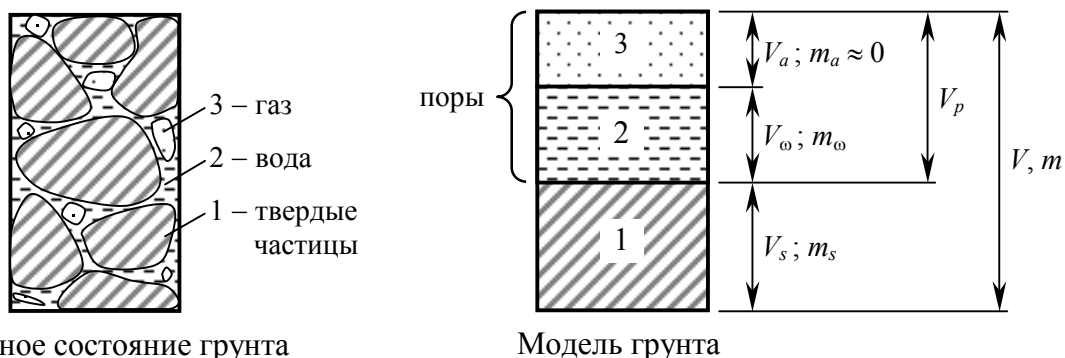
*Супеси*

- $I_L < 0$  – твердые
- $0 \leq I_L \leq 1$  – пластичные
- $I_L > 1$  – текучие

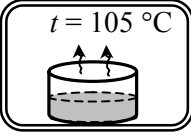

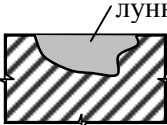
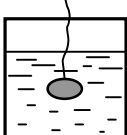
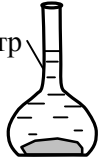
*Суглинки и глины*

- $I_L < 0$  – твердые
- $0 \leq I_L \leq 0,25$  – полутвердые
- $0,25 < I_L \leq 0,5$  – тугопластичные
- $0,5 < I_L \leq 0,75$  – мягкопластичные
- $0,75 < I_L \leq 1$  – текучепластичные
- $I_L > 1$  – текучие

### 3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ



#### Характеристики, определяемые экспериментально

Усл. обозначение	Ед. измерения	Метод	Определение	Расчетная формула
$W$	доли ед.	Высушивания проб 	$\frac{m_\omega}{m_s}$	$\frac{m - m_d}{m_d}$
$\rho$	г/см <sup>3</sup>	Режущего кольца 	$\frac{m}{V}$	$\frac{m}{V}$
		Лунки 		$\frac{m}{m_{fil}} \rho_{fil}$
		Парафинирования (гидростатического взвешивания) 		$\frac{m}{\frac{(m_1 - m_2)}{\rho_\omega} - \frac{(m_1 - m)}{\rho_{par}}}$
$\rho_s$	г/см <sup>3</sup>	Пикнометрический пикнометр 	$\frac{m_s}{V_s}$	$\frac{m_d}{m_d + m_3 - m_4} \rho_\omega$
$m_d$ – масса высушенной пробы грунта $m_{fil}, \rho_{fil}$ – соответственно масса и плотность вещества, пошедшего на заполнение лунки $m_1$ – масса образца, покрытого парафином $m_2$ – масса образца, покрытого парафином и взвешенного в воде $m_3, m_4$ – соответственно масса пикнометра с водой и пикнометра с водой и грунтом $\rho_\omega, \rho_{par}$ – плотности воды и парафина соответственно равные 1 г/см <sup>3</sup> и 0,93 г/см <sup>3</sup>				

### Характеристики, определяемые расчетом

Условное обозначение	Единица измерения	Определение	Формула
$\rho_d$	г/см <sup>3</sup>	$\frac{m_s}{V}$	$\frac{\rho}{(1+W)}$
$e$	-	$\frac{V_p}{V_s} = \frac{V_a + V_\omega}{V_s}$	$\frac{\rho_s - 1}{\rho_d}$
$W_{sat}$	доли ед.	$\frac{m_\omega^{max}}{m_s}$	$\frac{e\rho_\omega}{\rho_s}$
$S_r$	-	$\frac{m_\omega}{m_\omega^{max}}$	$\frac{W}{W_{sat}}$
$\gamma$	кН/м <sup>3</sup>	$\frac{G}{V}; G = mg$	$\rho g$
$\gamma_s$	кН/м <sup>3</sup>	$\frac{G_s}{V_s}; G_s = m_s g$	$\rho_s g$
$\gamma_d$	кН/м <sup>3</sup>	$\frac{G_s}{V}$	$\rho_d g$
$\gamma_{sb}$	кН/м <sup>3</sup>	-	$\frac{\gamma_s - \gamma_\omega}{1 + e}$
$\gamma_{sat}$	кН/м <sup>3</sup>	-	$\gamma_d (1 + W_{sat})$

*Примечание.*  $g = 9,8 \text{ м/с}^2 \approx 10 \text{ м/с}^2$ ;  $\gamma_\omega = 10 \text{ кН/м}^3$ .

### Характерные значения $e, \rho, \rho_s$

Вид грунта	$e$	$\rho, \text{ г/см}^3$	$\rho_s, \text{ г/см}^3$
Песок	0,6...0,8	1,65...1,85	$2,66 \pm 0,05$
Супесь	0,7...0,9	1,80...2,10	$2,70 \pm 0,05$
Суглинок			$2,71 \pm 0,05$
Глина			$2,74 \pm 0,05$
Торф	4,0...18,0	0,90...1,10	$1,50 \pm 0,05$
Ил	1,0...1,8	1,30...1,55	$2,20 \pm 0,10$
Лёсс	0,9...1,2	1,33...2,03	$2,67 \pm 0,05$
Сапрпель	> 3,0	> 0,95	1,5...2,0

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	4
1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ (ПОНЯТИЕ) ГРУНТА.....	6
2. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ.....	7
3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ.....	11
4. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ.....	14
4.1. Сжимаемость (деформируемость).....	14
4.2. Сопротивление сдвигу.....	18
4.3. Способность к уплотнению.....	22
4.4. Коэффициент фильтрационной консолидации.....	23
5. ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ.....	24
6. ТЕОРИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ.....	27
7. УСЛОВИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ.....	28
8. НАПРЯЖЕНИЯ В ГРУНТАХ.....	29
8.1. Напряжения от собственного веса грунта.....	29
8.2. Напряжения от вертикальной сосредоточенной силы.....	30
8.3. Напряжения от распределенной нагрузки.....	31
9. ДЕФОРМАЦИИ ОСНОВАНИЯ.....	39
9.1. Расчет конечной осадки основания.....	40
9.1.1. Метод послойного суммирования.....	40
9.1.2. Метод эквивалентного слоя грунта (Н.А. Цытовича).....	43
9.1.3. Метод линейно деформируемого слоя конечной толщины (К.Е. Егорова).....	44
9.1.4. Расчет осадки основания насыпи.....	45
9.2. Прогноз осадки во времени.....	46
9.3. Способы ускорения консолидации основания.....	47
10. ТЕОРИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ.....	50
10.1. Оценка прочности грунта в заданной точке основания.....	52
10.2. Формы нарушения устойчивости откосов.....	54
10.3. Устойчивость грунта в откосах.....	55
10.4. Устойчивость грунта в основании насыпи.....	59
10.5. Расчет подпорных стен.....	60
10.5.1. Давление грунта на подпорную стену.....	61
10.5.2. Устойчивость подпорных стен.....	65
10.5.3. Расчет шпунтовых стенок.....	66
10.6. Армирование грунтов.....	68

11. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ.....	70
11.1. Ползучесть.....	70
11.2. Релаксация.....	72
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ.....	73
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ.....	98
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ.....	112
БУКВЫ ГРЕЧЕСКОГО АЛФАВИТА, используемые в пособии.....	119
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	120
<i>Приложение 1. Справочные таблицы.....</i>	<i>120</i>
<i>Приложение 2. Формулы для расчета.....</i>	<i>127</i>
<i>Приложение 3. Графики Тейлора для определения крутизны откоса.....</i>	<i>128</i>
<i>Приложение 4. Графики функций <math>\beta</math> для определения безопасной нагрузки.....</i>	<i>131</i>
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	133

Учебное пособие

**Заручевных Ирина Юрьевна  
Невзоров Александр Леонидович**

# **МЕХАНИКА ГРУНТОВ В СХЕМАХ И ТАБЛИЦАХ**

Издание второе исправленное и дополненное

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Сдано в набор 15.01.11

Подписано к печати 14.03.11. Формат 70x100/16.

Бумага офс. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. 8,5 п.л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)  
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511  
тел., факс: (495)183-56-83, e-mail: [iasv@mgsu.ru](mailto:iasv@mgsu.ru), <http://www.iasv.ru/>