

4. АНАЛИЗ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ОЦЕНКА СТРОИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Цель проводимого анализа – установление закономерностей изменения сжимаемости и прочности грунтов по глубине, выбор несущих слоев грунта.

Сжимаемость оценивается по величине модуля деформации (E_0). В зависимости от нагрузок действующих на фундаменты, при $E_0 = 5 \dots 10$ мПа – грунты следует относить к сильносжимаемым, при $E_0 = 15 \dots 20$ мПа – к малосжимаемым. При промежуточных значениях E_0 основания имеют среднюю сжимаемость.

Общее представление о качестве грунта как основания дает его полное наименование по номенклатуре ГОСТ 25100-~~80~~¹¹. Для его установления используются значения коэффициента пористости (e), показателя текучести (J_L) и степени влажности (S_r) (см. табл. 2).

Для песков следует уточнить название грунта по плотности (табл. 3), а также по степени влажности ($S_r \leq 0,5$ – песок маловлажный, $0,5 < S_r \leq 0,8$ – водонасыщенный).

Основные характеристики грунтов

(определяемые опытным путем)

- Плотность твердых частиц грунта ρ_s , г/см³

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$$

Для песков – 2,55...2,66 г/см³,

для супесей – 2,66...2,68 г/см³,

для суглинков – 2,68...2,72 г/см³,

для глин – 2,70...2,95 г/см³.

Плотность грунта ρ (г/см³) естественной (ненарушенной) структуры

$$\rho = \frac{m_0}{V_0}.$$

Плотность грунта обычно колеблется в пределах 1,60...2,1 г/см³.

Весовая (естественная) влажность W
грунта (%)

$$W = \frac{m_B}{m_s}.$$

Удельный вес грунта, кН/м^3
(перевод ρ в систему СИ)

$$\gamma = \rho g,$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

$$1 \text{ Ньютон} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2$$

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Плотность сухого грунта (г/см³)

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_0} = \frac{\rho}{1 + W},$$

$$\rho_d \leq \rho \leq \rho_s$$

Пористость грунта (%)

$$n = \frac{V_n}{V_0} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}$$

- **Коэффициент пористости**

$$e = \frac{V_n}{V_s} \quad (0,5-1,0) \text{ может до } 12 \text{ в торфах !!!}$$

Отношение объема твердых частиц к общему объему грунта

$$m = \frac{V_s}{V_0},$$

$$m + n = 1,$$

$$e = \frac{n}{m} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

Плотность сложения песчаных грунтов (ГОСТ 25100-2011)

Разновидность песков	Коэффициент пористости e		
	Пески гравелистые крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотные	Менее 0,55	Менее 0,60	Менее 0,60
Средней плотности	0,55...0,70 включ.	0,60...0,75 включ.	0,60...0,80 включ.
Рыхлые	Свыше 0,70	Свыше 0,75	Свыше 0,80

- Степень влажности (коэффициент водонасыщения) S_r

$$S_r = \frac{\text{естественная влажность}}{\text{влажность при полном заполнении пор водой}} = \frac{W}{W_0}$$



$$W_0 = \frac{\text{масса воды в порах}}{\text{масса твердых частиц}} = \frac{m_w}{m_s}$$

$$S_r = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w} \text{ (д.е.)}$$

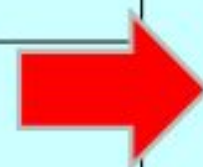
Разновидность грунтов от степени влажности (ГОСТ 25100-95)	Коэффициент водонасыщения S_r , д. е.
Малой степени водонасыщения <i>малообводн.</i>	0—0,50
Средней степени водонасыщения <i>визуальные</i>	0,50—0,80
Насыщенные водой <i>полностью насыщенные</i>	0,80—1,00

Если $0 < S_r < 1$ – трехфазовая система.

Если $S_r = 0$ или $S_r = 1$ – двухфазовая система

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

Разновидность песков По ГОСТ 25100-95	Степень плотности I_D , д. е.
Слабоуплотненный	0–0,33
Среднеуплотненный	0,33–0,66
Сильноуплотненный	0,66–1,00



Строить
нельзя !!!

$R \approx 250$ КПа

$R \approx 500$ КПа

Б.1.7 По водопроницаемости скальные грунты подразделяют согласно таблице Б.7 .

Т а б л и ц а Б.7*

Разновидность грунтов	Коэффициент фильтрации k , м/сут
Водонепроницаемый	$K_{\phi} \leq 0,005$
Слабоводопроницаемый	$0,005 < K_{\phi} \leq 0,3$
Водопроницаемый	$0,3 < K_{\phi} \leq 3$
Сильноводопроницаемый	$3 < K_{\phi} \leq 30$
Очень сильноводопроницаемый	$K_{\phi} > 30$

* Применяется также и для класса дисперсных грунтов.

Классификация грунтов по степени водопроницаемости

<i>Разновидность грунтов</i>	<i>Коэффициент фильтрации K_f, м/сут</i>
<i>Неводопроницаемый</i>	<i>$<0,005$</i>
<i>Слабоводопроницаемый</i>	<i>$0,005-0,30$</i>
<i>Водопроницаемый</i>	<i>$0,30-3$</i>
<i>Сильноводопроницаемый</i>	<i>$3-30$</i>
<i>Очень сильноводопроницаемый</i>	<i>>30</i>

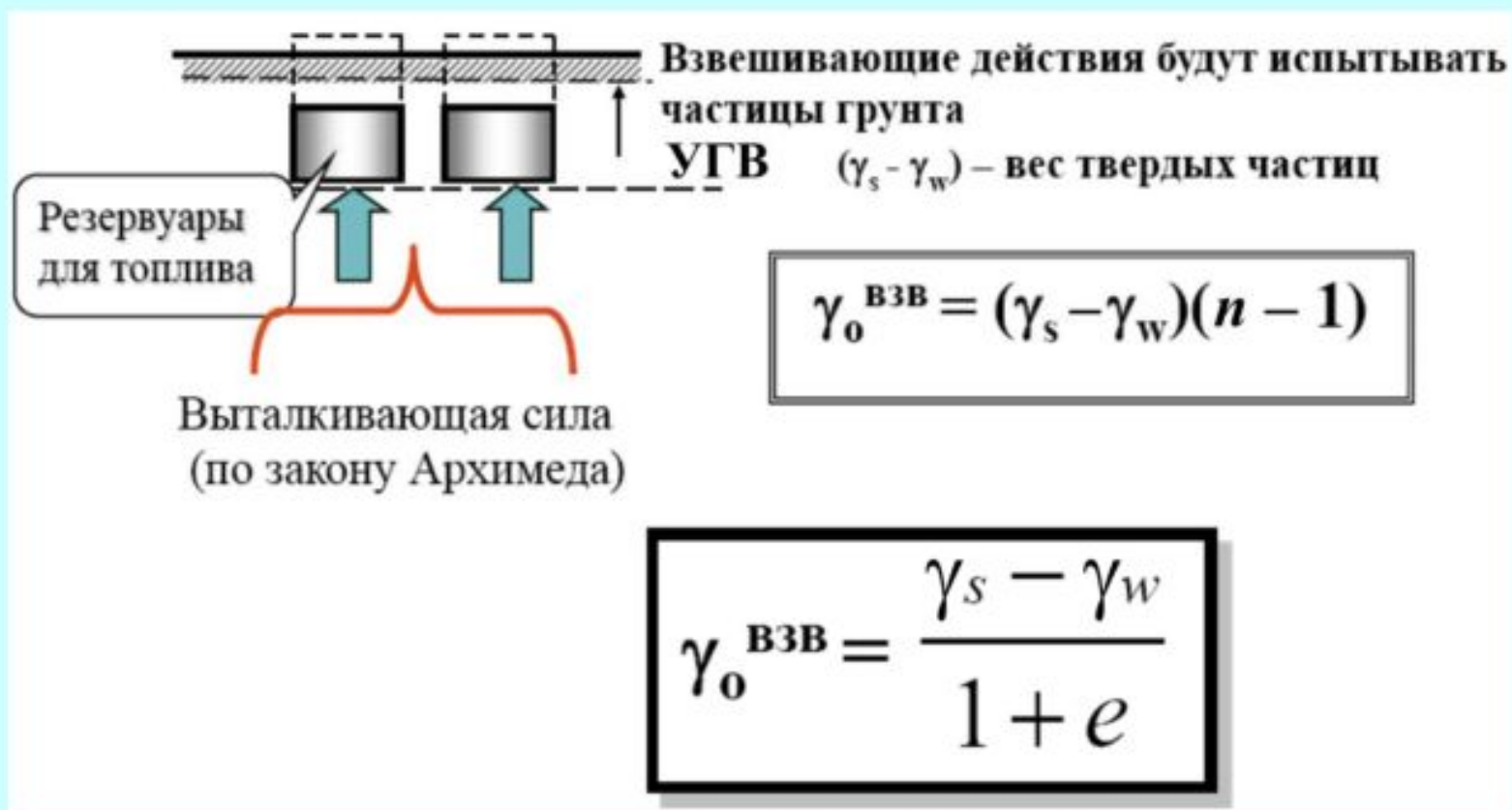
k_f (в см/с) при давлении 0,1...0,2 МПа

- для песка $i \cdot 10^{-2} \dots i \cdot 10^{-4}$,***
- супеси $i \cdot 10^{-3} \dots i \cdot 10^{-6}$,***
- суглинка $i \cdot 10^{-5} \dots i \cdot 10^{-8}$,***
- глины $i \cdot 10^{-7} \dots i \cdot 10^{-10}$***

**Для перевода из см/с в м/сут используют
безразмерный множитель – 864**

Удельный вес с учетом взвешивающего действия воды $\gamma_0^{\text{ВЗВ}}$

Для грунтов, находящихся ниже уровня грунтовых вод – УГВ !!!



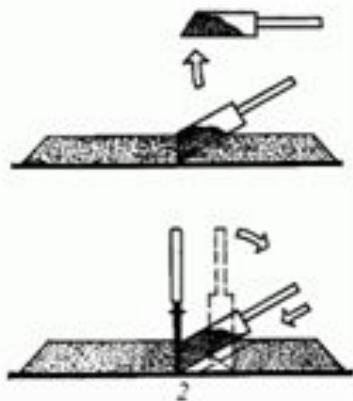
*Содержание в грунте частиц
различной крупности, выраженное
в процентах от общего веса сухого
грунта, характеризует зерновой
(гранулометрический) состав
грунта*

Основным методом определения гранулометрического состава песчаных грунтов является ситовой метод без промывки водой в соответствии с ГОСТ 12536[2].

Методы определения гранулометрического состава грунтов

- **Метод сит** (механический метод) – для фракций до 0,1 мм (песчаные грунты);
- **Метод отмучивания** (метод Сабянина) – для тонкозернистых песчаных и пылеватых грунтов (фракции до 0,01 мм). Основан на определении скорости падения частиц в жидкости;
- **Ареометрический метод** – фракции менее 0,01 мм (глинистые грунты). Основан на измерении плотности суспензии с помощью ареометра.

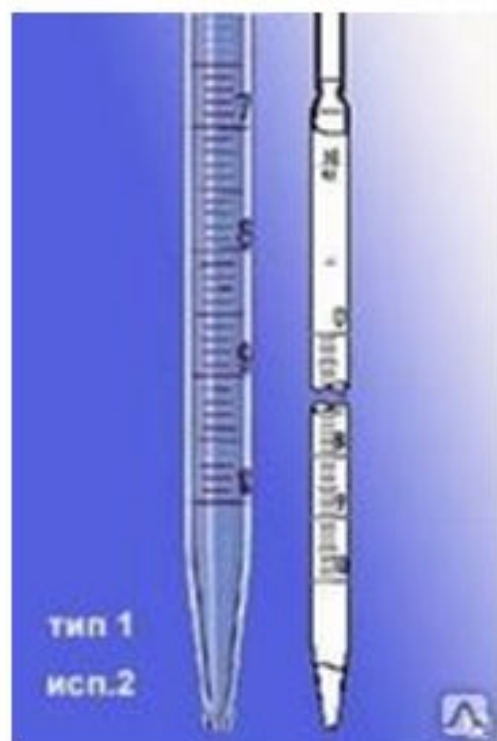
Метод просеивания на ситах (ручной)



Сита с размером отверстий
10; 5; 2; 1; 0,5; мм

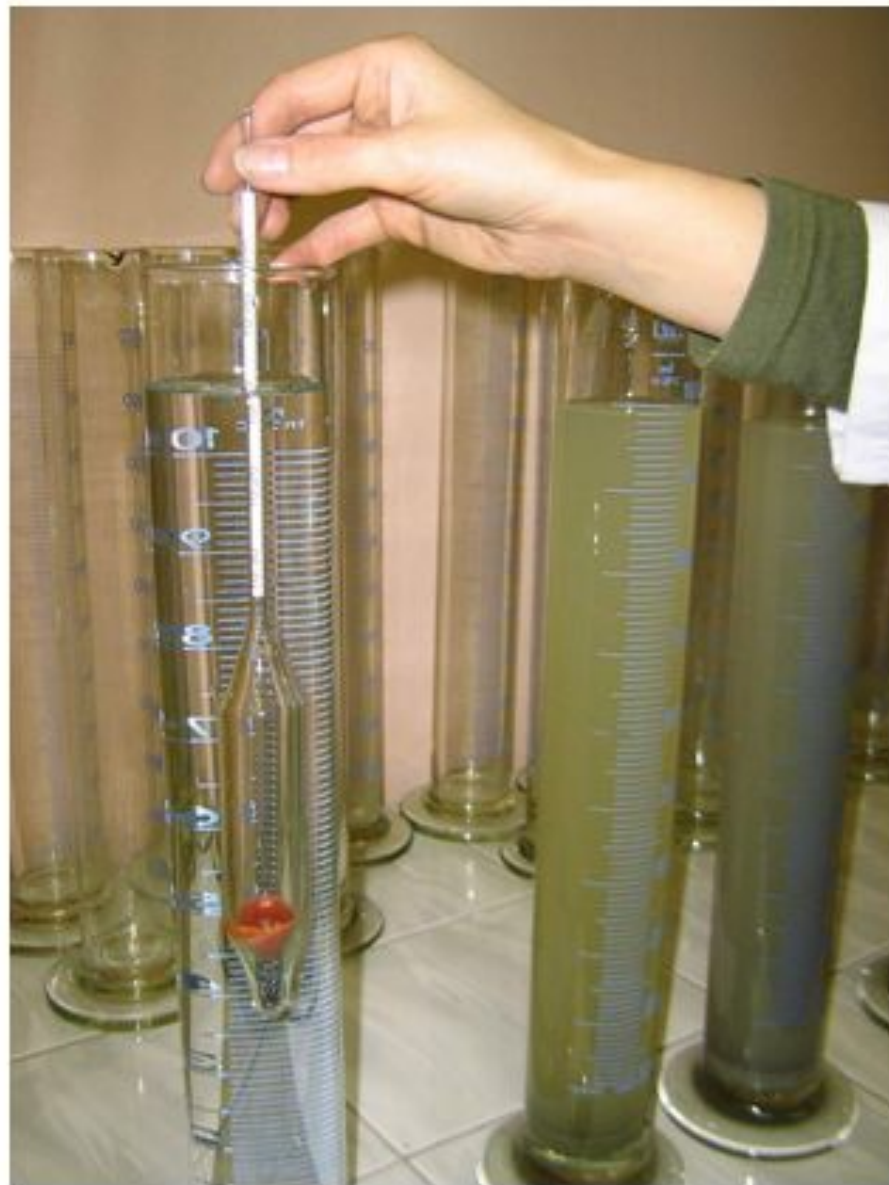


Метод отбора проб суспензии пипеткой



Пользуются при определении зернового состава мелких песчаных, супесчаных и легко суглинистых грунтов

Ареометрический метод

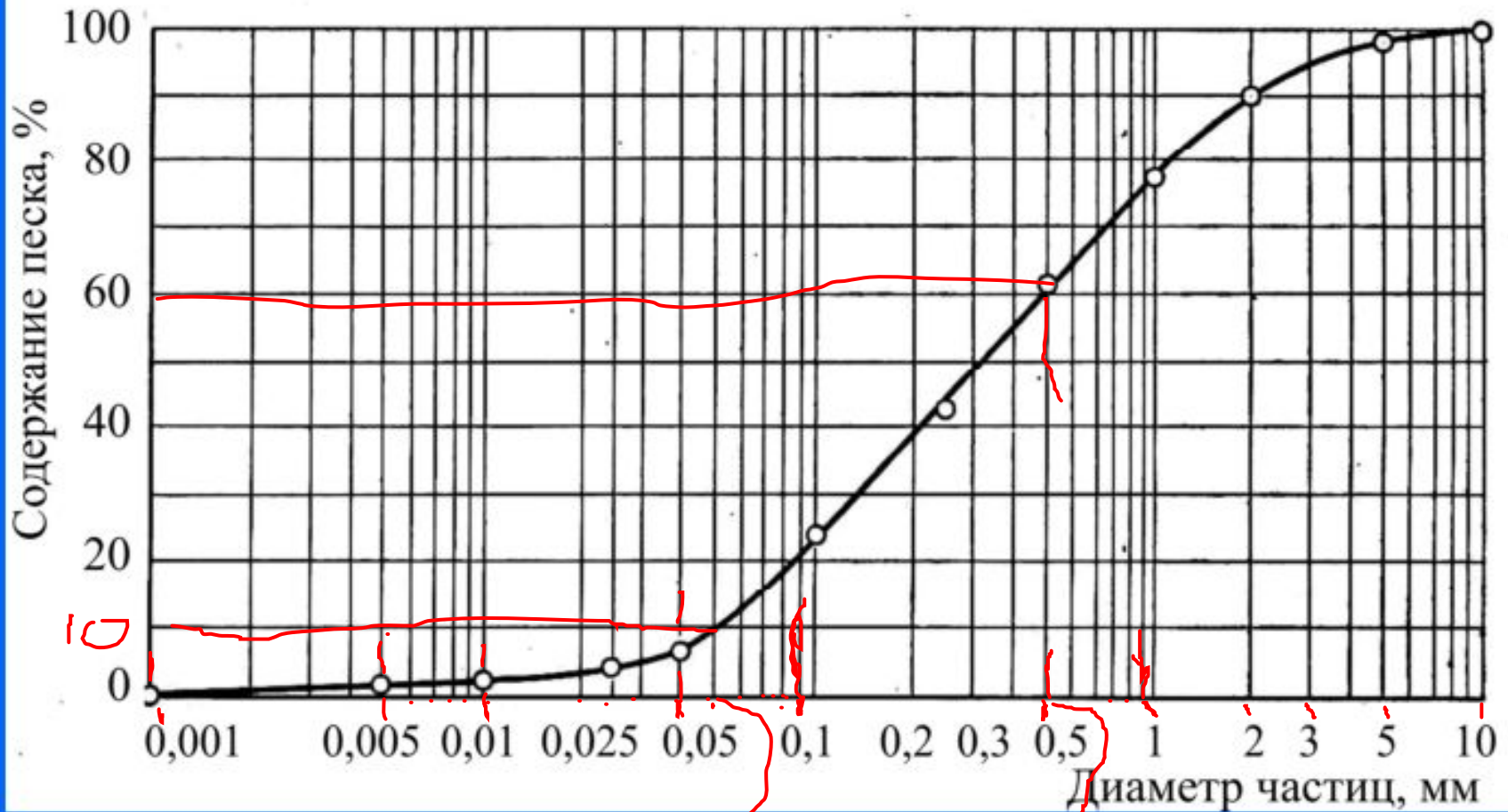


Применяют для проведения анализа зернового состава глинистых грунтов.

Классификация крупнообломочных грунтов и песков по гранулометрическому составу по ГОСТ 25100-2011

Разновидности грунтов	Размер зерен, частиц, диаметром свыше, мм	Содержание зерен, % по массе
Крупнообломочные: <i>Валунный</i> (при преобладании неокатанных частиц - глыбовый)	200	Свыше 50
<i>Галечниковый</i> (при неокатанных гранях - щебенистый)	10	Свыше 50
<i>Гравийный</i> (при неокатанных гранях – дресвяный)	2	Свыше 50
Пески: <i>гравелистый</i> <i>крупный</i> <i>средней крупности</i> <i>мелкий</i> <i>пылеватый</i>	2 0,50 0,25 0,10 0,10	Свыше 25 Свыше 50 Свыше 50 75 и выше Менее 75

Пример построения гранулометрической кривой



0,06-d10

0,5-d60

**Степень неоднородности
гранулометрического состава
(показатель неоднородности) C_u**

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,5}{0,06} = 8,33$$

где d_{60} , d_{10} – диаметры частиц, которых в грунте содержится соответственно 60 и 10 % (по массе) частиц, мм.

Если $C_u \leq 3$ – однородный грунт,
при $C_u > 3$ – неоднородный грунт.

Таблица Б.2 - гранулометрический состав песчаных грунтов, %

Номер пробы грунта	Размер частиц d , мм				
	> 2,0	0,5...2,0	0,25...0,5	0,1...0,25	< 0,1
13	4,0	23,6	32,4	19,5	20,5

ГОСТ 25100-2011

60%

Б.2.2 По гранулометрическому составу (ГОСТ 12536) крупнообломочные грунты и пески подразделяют согласно таблице Б.9.

Таблица Б.9

Разновидность грунтов	Размер частиц d , 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 - древесяный)	>2	>50
Пески:		
- гравелистый	>2	>25
- крупный	> 0,50	>50
- <u>средней крупности</u>	> <u>0,25</u>	> <u>50</u>
- мелкий	> 0,10	≥75
- пылеватый	> 0,10	<75

Примечание - При наличии в крупнообломочных грунтах песчаного заполнителя более 40 % или глинистого заполнителя более 30 % от общей массы воздушно-сухого грунта в наименовании крупнообломочного грунта добавляют наименование вида заполнителя и указывают характеристики его состояния. Вид заполнителя устанавливают после удаления из крупнообломочного грунта частиц крупнее 2 мм. Если обломочный материал представлен ракушкой в количестве ≥ 50 %, грунт называют ракушечным, если от 30 до 50 % - к наименованию грунта прибавляют с ракушкой.

Таблица Б.1 – Показатели физико-механических свойств грунтов

Но- мер про- бы грун- та	Удель- ный вес грунта γ , кН/м ³	Удель- ный вес частиц γ_s , кН/м ³	Влажность			Кoeffи- циент фильтра- ции K_f , см/с	Удель- ное сцеп- ление c , кПа (кгс/см ²)	Угол внут- рен- него тре- ния φ , град	Модуль де- формации E , МПа (кгс/см ²)
			при род- ная ω	на гра- нице пла- стич- ности ω_p	на гра- нице теку- чести ω_L				
1	18.1	26.8	0.38	0.30	0.49	3.0·10 ⁻⁸	31 (0.31)	15	8.0 (80)
2	18.3	27.0	0.39	0.29	0.47	2.8·10 ⁻⁸	20 (0.20)	16	6.0 (60)
3	18.7	27.1	0.37	0.26	0.42	2.6·10 ⁻⁸	15 (0.15)	14	6.5 (65)
4	19.6	26.4	0.23	0.15	0.30	2.4·10 ⁻⁶	41 (0.41)	25	20 (200)
5	18.9	26.5	0.31	0.28	0.46	2.3·10 ⁻⁸	32 (0.32)	18	18 (180)
6	18.3	26.8	0.32	0.27	0.40	2.6·10 ⁻⁷	19 (0.19)	19	10 (100)
7	18.1	26.7	0.21	0.17	0.25	2.5·10 ⁻⁷	14 (0.14)	17	11 (110)
8	19.3	26.6	0.23	0.32	0.37	2.6·10 ⁻⁷	18 (0.18)	16	9.0 (90)
9	18.7	26.8	0.39	0.29	0.46	1.0·10 ⁻⁷	7 (0.07)	16	8.0 (80)
10	20.4	26.5	0.17	0.14	0.20	2.7·10 ⁻⁵	12 (0.12)	21	18 (180)
11	19.9	26.6	0.22	0.17	0.23	2.5·10 ⁻⁶	10 (0.10)	24	15 (150)
12	19.6	26.7	0.20	0.20	0.26	1.2·10 ⁻⁵	6 (0.06)	22	9.0 (90)
13	19.1	26.4	0.17	-	-	3.2·10 ⁻²	-	34	30 (300)
14	20.2	26.6	0.15	-	-	2.2·10 ⁻²	-	36	39 (390)
15	18.0	26.4	0.26	-	-	8.1·10 ⁻⁴	-	28	15 (150)

Таблица Б.2 - гранулометрический состав песчаных грунтов, %

Номер пробы грунта	Размер частиц d , мм				
	> 2,0	0,5...2,0	0,25...0,5	0,1...0,25	< 0,1
13	4,0	23,6	32,4	19,5	20,5
14	8,0	7,5	31,5	40,5	12,5
15	-	5,5	8,6	35,4	50,5
16	10,0	46,5	29,5	10,6	16,4
22	3,0	18,5	15,7	42,3	20,5
24	8,0	60,7	15,5	10,3	5,5
26	2,0	40,6	25,4	21,8	10,2
29	11,0	49,8	12,2	9,8	17,2
30	1,0	8,8	16,2	41,5	32,5

Таблица 3.1

Нормативные характеристики грунтов для расчета по II группе предельных состояний (по деформациям) к схеме грунтовых условий на стр. 12

Показатель	Единица измерения	ИГЭ 1	ИГЭ 2	ИГЭ 3	ИГЭ 4
ρ_s	т/м ³	–	2,65	2,69	2,74
ρ	т/м ³	1,5	1,85	1,70	1,83
W	–	–	0,12	0,18	0,28
W _p	–	–	–	0,15	0,16
W _L	–	–	–	0,28	0,39
v	–	–	0,27	0,33	0,40
φ	градусы	–	30	22	17
c	кПа	–	–	35	40
E	МПа	–	25	20	21
d > 5 мм	%	–	–	–	–
5...2 мм		–	10	–	–
2...0,5 мм		–	10	–	–
0,5...0,25 мм		–	40	–	–
0,25...0,1 мм		–	15	–	–

Определение классификационных характеристик грунтов и их классификация

Слой ИГЭ 1.

Почвенно-растительный слой. Задана только плотность $\rho = 1,5 \text{ т/м}^3$. Сохраняется уровень естественной (заданной) планировки. В дальнейших расчетах ввиду его малой мощности, плотность возможно принимать равной плотности нижележащего слоя, т.е. ИГЭ 2.

Слой ИГЭ 2.

Для слоя ИГЭ 2 вычисляются следующие характеристики:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W} = \frac{1,85 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}}{1 + 0,12} = 1,65 \frac{\text{т}}{\text{м}^3};$$

$$\underline{e} = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,65 \frac{m}{M^3}}{1,65 \frac{m}{M^3}} - 1 = \underline{0,61};$$

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} = 1 - \frac{1,65 \frac{m}{M^3}}{2,65 \frac{m}{M^3}} = 0,38 \text{ (38\%);}$$

$$\underline{S_r} = \frac{\rho_s \cdot W}{\rho_w \cdot e} = \frac{2,65 \frac{m}{M^3} \cdot 0,12}{1 \frac{m}{M^3} \cdot 0,61} = \underline{0,52}.$$

По классификации крупнообломочных и песчаных грунтов [6] грунт ИГЭ 2 относится к песку средней крупности, т.к. масса частиц крупнее 0,25 мм составляет 60%, что более критерия в 50%.

ГОСТ 25100-2011

Б.2.2 По гранулометрическому составу (ГОСТ 12536) крупнообломочные грунты и пески подразделяют согласно таблице Б.9.

Таблица Б.9

Разновидность грунтов	Размер частиц d , 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
- <u>средней крупности</u>	<u>> 0,25</u>	<u>>50</u>
- мелкий	> 0,10	<u>≥75</u>
- пылеватый	> 0,10	<75

Примечание - При наличии в крупнообломочных грунтах песчаного заполнителя более 40 % или глинистого заполнителя более 30 % от общей массы воздушно-сухого грунта в наименовании крупнообломочного грунта добавляют наименование вида заполнителя и указывают характеристики его состояния. Вид заполнителя устанавливают после удаления из крупнообломочного грунта частиц крупнее 2 мм. Если обломочный материал представлен ракушкой в количестве ≥ 50 %, грунт называют ракушечным, если от 30 до 50 % - к наименованию грунта прибавляют с ракушкой.

Показатель	Единица измерения	ИГЭ 2
ρ_s	т/м ³	2,65
ρ	т/м ³	1,85
W	-	0,12
W _p	-	-
W _L	-	-
v	-	0,27
φ	градусы	30
c	кПа	-
E	МПа	25
d > 5 мм		-
5...2 мм		10
2...0,5 мм		10
<u>0,5...0,25 мм</u>	%	40
0,25...0,1 мм		15
d < 0,1 мм		25
K _ф	см/год	250

Handwritten red annotations: A bracket groups the rows for 5...2 мм, 2...0,5 мм, and 0,5...0,25 мм, with a label "60%". An arrow points from the "60%" label to the "0,5...0,25 мм" row. Another arrow points from the "0,5...0,25 мм" row to the "ИГЭ 2" column value "40".

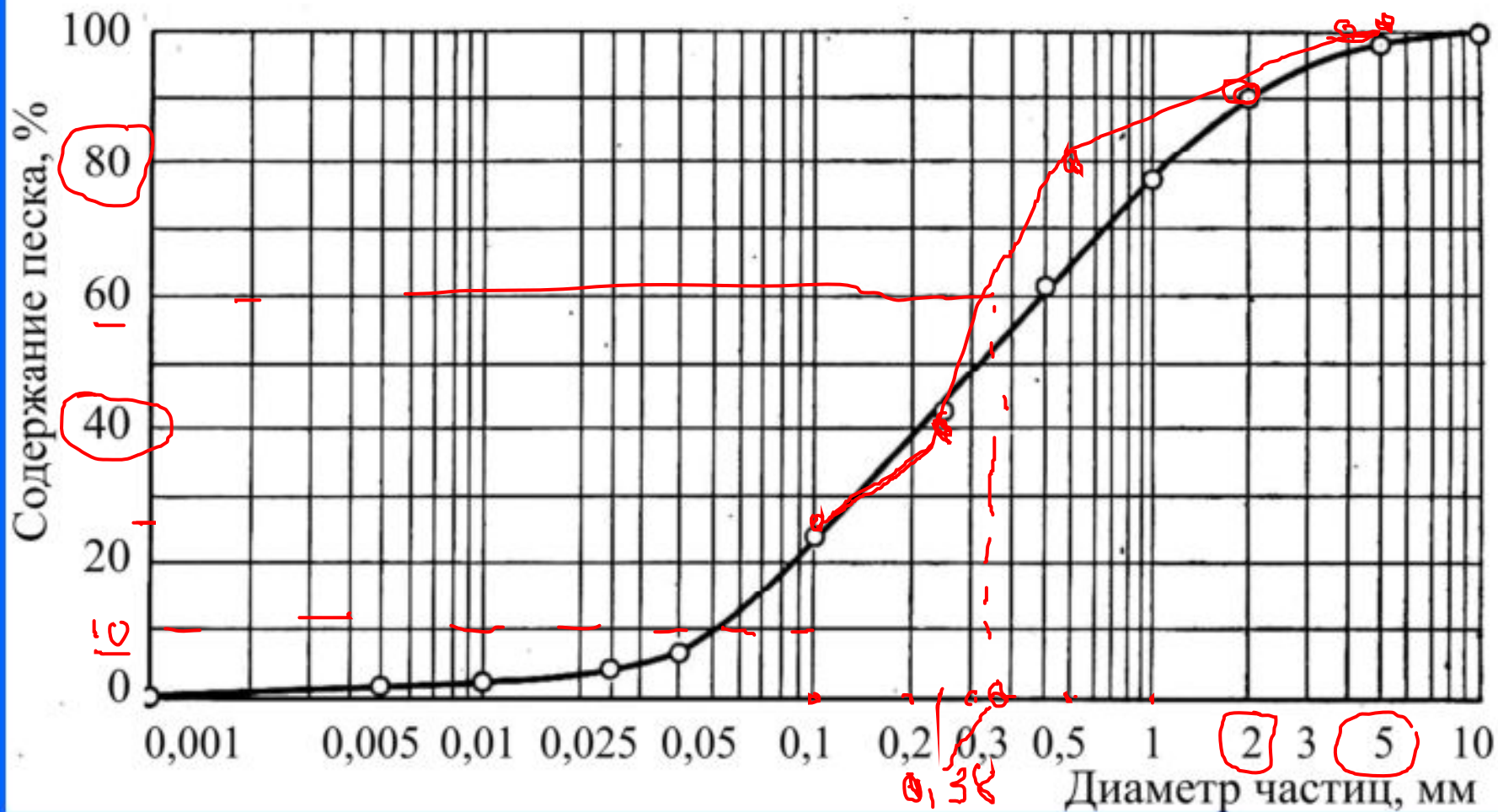
По заданному грансоставу составляется таблица 3.2, по данным которой строится график неоднородности грансостава.

Таблица 3.2

Грансостав частиц

Диаметр фракции d , мм	> 5	$5 \dots 2$	$2 \dots 0,5$	$0,5 \dots 0,25$	$0,25 \dots 0,1$	$< 0,1$
Сумма % частиц $d \leq d_{\max}$,	-	100	90	80	40	25
d_{\max} во фракции	-	5	2	0,5	0,25	0,1

Пример построения гранулометрической кривой



По графику неоднородности грансостава определяется коэффициент (степень) неоднородности грансостава (используя шкалу графика из журнала лабораторных работ по механике грунтов, лабораторная работа №5):

$$c_v = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,38}{0,1} = 3,8.$$

В данном случае принято, что $d_{10} = 0,1$, т.к. меньших фракций не задано. Если бы имелись данные по меньшим фракциям, то $d_{10} < 0,1$, а значения коэффициента $c_v > 3,8$.

Поэтому, в данном случае, коэффициент можно считать $c_v > 3$ (критерий).

Если все же имеется неопределенность в вычислении c_v , рекомендуется определить (задать) процентное содержание более мелких фракций (0,1...0,05 мм и др.), чтобы на графике четко зафиксировать значение d_{10} . В противном случае, степень неоднородности не определена.

Таким образом, слой ИГЭ 2 можно классифицировать как: песок средней крупности, неоднородный по грансоставу, средней плотности ($e=0,61$), влажный ($S_r=0,52$).

Б.2.5 По коэффициенту пористости e пески подразделяют согласно таблице Б.12.

Т а б л и ц а Б.12

Разновидность песков	Коэффициент пористости e , д.е.		
	Пески гравелистые, крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотный	$e \leq 0,55$	$e \leq 0,60$	$e \leq 0,60$
Средней плотно- сти	$0,55 < e \leq 0,70$	$0,60 < e \leq 0,75$	$0,60 < e \leq 0,80$
Рыхлый	$e > 0,70$	$e > 0,75$	$e > 0,80$

Б.2.4 По коэффициенту водонасыщения S_r крупнообломочные грунты и пески подразделяют согласно таблице Б.11.

Т а б л и ц а Б.11

Разновидность грунтов	Коэффициент водонасыщения S_r , д. е.
Малой степени водонасыщения (маловлажные)	$0 < S_r \leq 0,5$
Средней степени водонасыщения (влажные)	$0,5 < S_r \leq 0,8$
Водонасыщенные	$0,8 < S_r \leq 1$

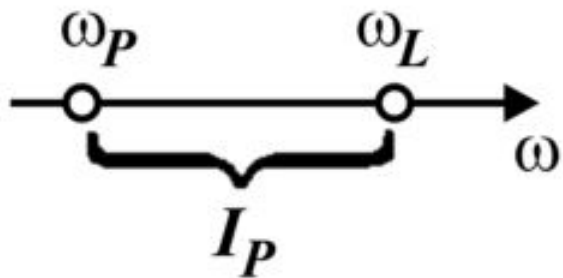
- **Число пластичности**

– ТОЛЬКО ДЛЯ ГЛИН

$$I_p = W_L - W_p$$

W_L – граница текучести соответствует такой влажности, при незначительном увеличении которой грунт переходит в текучее состояние.

W_p – граница раскатывания соответствует такой влажности, при незначительном уменьшении которой грунт переходит в твердое состояние.



Глинистый Грунт по ГОСТ	Число пластичности I_p , %	Содержание <u>глинистых</u> частиц <u>< 0,005 мм, %</u>
-------------------------------	------------------------------------	---

Б.2.9 По числу пластичности I_p глинистые грунты подразделяют согласно таблице

Б.16.

Т а б л и ц а Б.16

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

3–10
10–30
>30

Примечание – Илы подразделяют по значениям числа пластичности, указанным в таблице, на супесчаные, суглинистые и глинистые.

Показатель текучести I_L – ТОЛЬКО ДЛЯ ГЛИН

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

Таблица Б.19

Разновидность грунтов	Показатель текучести I_L , д. е.	
Супесь:		
- твердая	$I_L < 0$	
- пластичная	$0 \leq I_L \leq 1,00$	
- текучая	$I_L > 1,00$	
Суглинки и глины:		
- твердые	$I_L < 0$	
- полутвердые	$0 \leq I_L \leq 0,25$	
- тугопластичные	$0,25 < I_L \leq 0,50$	IX
- мягкопластичные	$0,50 < I_L \leq 0,75$	Ы
- текучепластичные	$0,75 < I_L \leq 1,00$	
- текучие	$I_L > 1,00$	

Твер,

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ



По величине e и I_L оцениваются деформационные и прочностные характеристики грунтов (c , E , φ) (табл. приложения Б СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений)

$$J_L < 0$$

$$R \approx 4 \text{ кг/см}^2 = 0,4 \text{ МПа}$$

$$0 < J_L < 1$$

$$R \approx 0,2 \text{ МПа}$$

$$J_L > 1$$

$$R \approx 0 \text{ (строить практически невозможно)}$$

Еще один косвенный показатель — *показатель просадочности* (П), введенный Строительными нормами и правилами (СНиП П-15-74) в 1974 г.¹:

$$I_{ss}(\text{П}) = \frac{e_L - e_0}{1 + e_0},$$

где e_0 — коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности; e_L — коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе верхнего предела пластичности (границе текучести W_L), определяемой по формуле

$$e_L = W_L \frac{\rho_S}{\rho_W},$$

где ρ_S — плотность твердых частиц грунта, ρ_W — плотность воды, принимаемая равной 1.

По величине показателя просадочности (который в принципе характеризует естественную недоуплотненность лёссовых пород) при степени влажности менее 0,8 и определенном значении числа пластичности можно оценить склонность лёссовых пород к проявлению просадочных свойств. К просадочным относятся грунты с $\text{П} < 0,1$ при числе пластичности (в процентах) $1 \leq J_p < 10$, с $\text{П} < 0,17$ при числе пластичности $10 \leq J_p < 0,17$ и $\text{П} < 0,24$ при $14 \leq J_p < 0,22$.

Приложение 6

Значения показателей просадочности

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

$I_{ss} < 0,1$

$< 0,17$

$< 0,24$

Просадочный грунт

Пример 6. Определить показатель просадочности I_{SS} грунта.

Дано: Степень влажности $S_r \leq 0,8$, коэффициент пористости природного сложения и влажности $e = 0,662$; число пластичности $I_p = 8$.

Коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе текучести W_L и определяемый по формуле $e_L = (W_L \cdot \gamma_s) / \gamma_w$, при $\gamma_s = 26,8 \text{ кН/м}^3$, $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ и $W_L = 0,28$ равен $e_L = 0,28 \cdot 26,8 / 10 = 0,75$.

Решение. Показатель просадочности определяется по формуле

$$I_{SS} = (e_L - e) / (1 + e) = (0,75 - 0,66) / (1 + 0,66) = 0,05.$$

В соответствии с прил. 6 данный грунт относится к просадочным, т. к. $0,05 < 0,1$ при $I_p = 8 < 10$.

Приложение 6

Значения показателей просадочности

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

Показатель	Единица измерения	ИГЭ 3
ρ_s	т/м ³	2,69
ρ	т/м ³	1,70
W	–	0,18
W _P	–	0,15
W _L	–	0,28
v	–	0,33
φ	градусы	22
c	кПа	35
E	МПа	20
d > 5 мм	%	–
5...2 мм		–
2...0,5 мм		–
0,5...0,25 мм		–
0,25...0,1 мм		–
d < 0,1 мм		–
K _ф	см/год	55

Слой ИГЭ 3.

Грунт относится к разновидности глинистых грунтов, т.к. заданы характеристики W_L и W_p .

Определяются дополнительные и классификационные характеристики [6]:

$$\rho_d = \frac{1,7 \frac{m}{M^3}}{1 + 0,18} = 1,44 \frac{m}{M^3};$$

$$e = \frac{2,69 \frac{m}{M^3}}{1,44 \frac{m}{M^3}} - 1 = 0,87;$$

$$n = 1 - \frac{1,44 \frac{m}{M^3}}{2,69 \frac{m}{M^3}} = 0,46 \text{ (46\%)};$$

$$S_r = \frac{2,69 \frac{m}{M^3} \cdot 0,18}{1 \frac{m}{M^3} \cdot 0,87} = 0,56;$$

$$e_L = \rho_s \cdot \frac{W_L}{\rho_w} = 2,69 \frac{m}{M^3} \cdot \frac{0,28}{1 \frac{m}{M^3}} = 0,75;$$

$$J_{ss} = \frac{e_L - e}{1 + e} = \frac{0,75 - 0,87}{1 + 0,87} = -0,064;$$

$$J_p = W_L - W_p = 0,28 - 0,15 = 0,13;$$

$$J_L = \frac{W - W_p}{J_p} = \frac{0,18 - 0,15}{0,13} = 0,23.$$

Плотность взвешенного в воде грунта (часть слоя, залегающая ниже уровня Г.Г.В.):

$$\rho_{SB} = (\rho_s - 1) \cdot (1 - n) = \left(2,69 \frac{т}{м^3} - 1 \right) \cdot (1 - 0,46) = 0,91 \frac{т}{м^3} .$$

Слой ИГЭ 3 классифицируется как: суглинок ($J_p = 0,13$) полутвердой консистенции ($J_L = 0,23$), влажный ($S_r = 0,56$), залегающий выше уровня Г.Г.В. ($J_{ss} = -0,064 < 0,17$) – просадочный, с коэффициентом пористости $e = 0,87$ (пори-

стость $n = 46\%$); $\rho_{SB} = 0,91 \frac{т}{м^3} .$

Слой ИГЭ 4.

Характеристики слоя ИГЭ 4: грунт глинистый. По аналогии с ИГЭ 3 определяем:

$$\rho_d = \frac{1,83 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3}}{1 + 0,28} = 1,43 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3};$$

$$e = \frac{2,74 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3}}{1,43 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3}} - 1 = 0,91;$$

$$n = 1 - \frac{1,43 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3}}{2,74 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3}} = 0,48 \text{ (48\%);}$$

$$S_r = \frac{2,74 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3} \cdot 0,28}{1 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3} \cdot 0,91} = 0,84;$$

$$J_p = 0,39 - 0,16 = 0,23;$$

$$J_L = \frac{0,28 - 0,16}{0,23} = 0,52;$$

$$\rho_{\text{SB}} = \left(2,74 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3} - 1 \right) \cdot (1 - 0,48) = 0,91 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3}.$$

Для данного типа грунта отношение J_{ss} не определяется, т.к. грунт водонасыщен (залегает ниже уровня Г.Г.В.).

Слой ИГЭ 4 классифицируется как: глина ($J_p = 0,23$) мягкопластичной консистенции ($J_L = 0,52$), насыщенная ($S_r = 0,84$), непросадочная и ненабухающая,

$$e = 0,91, \rho_{\text{SB}} = 0,91 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3}.$$

В качестве рабочего слоя рекомендуется принимать ИГЭ с расчетным сопротивлением $R_0 \geq 150$ кПа .

Заглубление фундамента в рабочий слой не менее 0,15 м .

Мощность рабочего слоя под подошвой фундамента должна составлять не менее 1,0 м .

Если под рабочим слоем расположен слой с более низкими прочностными и деформационными характеристиками , в дальнейшем необходимо произвести проверку прочности подстилающего слоя .

Предварительно назначенная глубина заложения фундамента d должна быть не менее расчетной глубины сезонного промерзания d_f .

Т а б л и ц а Б.2 – Расчетные сопротивления R_0 песков

Пески	Значения R_0 , кПа, в зависимости от плотности сложения песков	
	плотные	средней плотности
Крупные	600	500
Средней крупности	500	400
Мелкие:		
маловлажные	400	300
влажные и насыщенные водой	300	200
Пылеватые:		
маловлажные	300	250
влажные	200	150
насыщенные водой	150	100

Т а б л и ц а Б.3 – Расчетные сопротивления R_0 глинистых (непросадочных) грунтов

Глинистые грунты	Коэффициент пористости e	Значения R_0 , кПа, при показателе текучести грунта	
		$I_L = 0$	$I_L = 1$
Супеси	0,5	300	200
	0,7	250	150
Суглинки	0,5	350	250
	0,7	250	180
	1,0	200	100
Глины	0,5	600	400
	0,6	500	300
	0,8	300	200
	1,1	250	100

Т а б л и ц а Б.4 – Расчетные сопротивления R_0 глинистых просадочных грунтов

Грунты	Значения R_0 , кПа, просадочных грунтов			
	природного сложения с плотностью в сухом состоянии ρ_d , т/м ³		уплотненных с плотностью в сухом состоянии ρ_d , т/м ³	
	1,35	1,55	1,60	1,70
Супеси	300	350	200	250
	150	180		
Суглинки	350	400	250	300
	180	200		

П р и м е ч а н и е – Над чертой приведены значения R_0 , относящиеся к незамоченным просадочным грунтам с коэффициентом водонасыщения $S_r \leq 0,5$; под чертой – значения R_0 , относящиеся к таким же грунтам с $S_r \geq 0,8$, а также к замоченным просадочным грунтам.

Примечание:

Слой ИГЭ 2 – песок средней плотности, является вполне удовлетворительным основанием в качестве несущего слоя.

Однако, в случае рыхлого состояния несущий слой следует уплотнять до плотного или средней плотности методом технической мелиорации (трамбовками, гидровиброуплотнителями и т.д.), т.к. на рыхлых песках строить нельзя.

В курсовом проекте в данном случае следует отразить этот факт, задавшись коэффициентом пористости, до значения которого грунт необходимо уплотнить. По заданному значению коэффициента пористости по СНиП 2.02.01-83* принять новые значения E , φ и c , которые будут учитываться при проектировании фундамента на уплотненном грунте.

Например, рыхлое состояние песка средней плотности соответствует значению $e = 0,75$. Принимается уплотнение до средней плотности $e = 0,55$, а из СНиП 2.02.01-83* берутся нормативные характеристики $E = 40$ МПа, $\varphi_n = 38^\circ$, $c_n = 2$ кПа, которые и применяются при проектировании основания по 2-му предельному состоянию (по деформациям).

Подстилающие слои рыхлых песков, залегающих под несущим слоем не уплотняют, т.к. это технически сложно, но их структура, прижатая бытовым давлением, обычно работоспособна.

На основе анализа показателей свойств грунтов ,
предварительно
назначенной глубины заложения фундаментов необходимо
дать
заключение о пригодности грунтов строительной площадки в
качестве естественного основания для проектирования
фундаментов здания или сооружения .
Инженерно - геологическое заключение должно включать :
1) рекомендации по выбору рабочего слоя грунта для
варианта
ленточных или отдельно стоящих фундаментов ;
2) рекомендации по предполагаемой глубине забивки свай в
варианте свайных фундаментов ;
3) сведения о глубине горизонта подземных вод и его влиянии
на
особенности производства работ нулевого цикла . Если
горизонт под земных вод ниже отметки дна котлована на 0,5–1,0
м , то условия производства работ по отрывке котлована
считаются благоприятными . В противном случае необходимо

Подводя итоги по данному разделу, следует в целом оценить инженерно-геологические условия площадки строительства, а именно:

1. Сжимаемость слоев основания с глубиной увеличивается (уменьшение E).
2. Угол внутреннего трения φ с глубиной уменьшается.
3. Обобщающей характеристикой слоев основания можно считать условное расчетное сопротивление R_0 , которое принимается по ~~СНиП 2.02.01-83*~~^{СП 21}. Так, для ИГЭ 2 – $R_0 = 400$ кПа; для ИГЭ 3 – $R_0 = 375$ кПа (если ИГЭ 3 выше уровня Г.Г.В.) и $R_0 = 190$ кПа (если ИГЭ 3 ниже уровня Г.Г.В.); для ИГЭ 4 – $R_0 = 210$ кПа. Тенденция изменения – уменьшение по слоям с увеличением глубины.
4. Слой ИГЭ 3 выше уровня Г.Г.В. мощностью $4,9 - 3,5 = 1,4$ м относится к просадочным грунтам. Характеристики просадочности не заданы, поэтому этот факт следует рассматривать как неблагоприятный. В дальнейшем следует сделать соответствующие указания в проекте о предотвращении замачивания этого слоя при строительстве и эксплуатации.
5. Влияние удельного сцепления C в слоях ИГЭ 3 и ИГЭ 4 на данном этапе без параметров фундамента оценить сложно (оно учитывается при определении расчетного сопротивления грунта R).

В итоге, принимается инженерно-геологическая обстановка неблагоприятной. По СНиП 11-105-97 – II категория сложности.

Категории сложности инженерно-геологических условий	Условная классификация геологической среды по совокупности факторов инженерно-геологических условий, определяющих сложность изучения исследуемой территории и выполнение различного состава и объемов изыскательских работ
---	--

**СВОД ПРАВИЛ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ
ИЗЫСКАНИЯМ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
СП 11-105-97**

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

КАТЕГОРИИ СЛОЖНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИ

Факторы	I (простая)	II (средней сложности)	III (сложная)
Геоморфологические условия	Площадка (участок) в пределах одного геоморфологического элемента. Поверхность горизонтальная, нерасчлененная	Площадка (участок) в пределах нескольких геоморфологических элементов одного генезиса. Поверхность наклонная, слабо расчлененная	Площадка (участок) в пределах нескольких геоморфологических элементов разного генезиса. Поверхность сильно расчлененная
Геологические в сфере взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой	Не более двух различных по литологии слоев, залегающих горизонтально или слабо наклонно (уклон не более 0,1). Мощность выдержана по простиранию. Незначительная степень неоднородности слоев по показателям свойств грунтов, закономерно изменяющихся в плане и по глубине. Скальные грунты залегают с поверхности или перекрыты маломощным слоем не-	Не более четырех различных по литологии слоев, залегающих наклонно или с выклиниванием. Мощность изменяется закономерно. Существенное изменение характеристик свойств грунтов в плане или по глубине. Скальные грунты имеют неровную кровлю и перекрыты нескальными грунтами	Более четырех различных по литологии слоев. Мощность резко изменяется. Линзовидное залегание слоев. Значительная степень неоднородности по показателям свойств грунтов, изменяющихся в плане или по глубине. Скальные грунты имеют сильно расчлененную кровлю и перекрыты нескальными грунтами. Имеются разломы разного порядка

	скальных грунтов		
Гидрогеологические в сфере взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой	Подземные воды отсутствуют или имеется один выдержанный горизонт подземных вод с однородным химическим составом	Два и более выдержанных горизонтов подземных вод, местами с неоднородным химическим составом или обладающих напором и содержащих загрязнение	Горизонты подземных вод не выдержаны по простиранию и мощности, с неоднородным химическим составом или разнообразным загрязнением. Местами сложное чередование водоносных и водоупорных пород. Напоры подземных вод и их гидравлическая связь изменяются по простиранию
Геологические и инженерно-геологические процессы, отрицательно влияющие на условия строительства и эксплуатации зданий и сооружений	Отсутствуют	Имеют ограниченное распространение и (или) не оказывают существенного влияния на выбор проектных решений, строительство и эксплуатацию объектов	Имеют широкое распространение и (или) оказывают решающее влияние на выбор проектных решений, строительство и эксплуатацию объектов
Специфические грунты в сфере взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой	Отсутствуют	Имеют ограниченное распространение и (или) не оказывают существенного влияния на выбор проектных решений, строительство и эксплуатацию объектов	Имеют широкое распространение и (или) оказывают решающее влияние на выбор проектных решений, строительство и эксплуатацию объектов
Техногенные воздействия и изменения освоенных территорий	Незначительные и могут не учитываться при инженерно-геологических изысканиях и проектировании	Не оказывают существенного влияния на выбор проектных решений и проведение инженерно-геологических изысканий	Оказывают существенное влияние на выбор проектных решений и осложняют производство инженерно-геологических изысканий в части увеличения их состава и объемов работ

Примечание - Категории сложности инженерно-геологических условий следует устанавливать по совокупности факторов, указанных в настоящем приложении. Если какой-либо отдельный фактор относится к более высокой категории сложности и является определяющим при принятии основных проектных решений, то категорию сложности инженерно-геологических условий следует устанавливать по этому фактору. В этом случае должны быть увеличены объемы или дополнительно предусмотрены только те виды работ, которые необходимы для обеспечения выяснения влияния на проектируемые здания и сооружения именно данного фактора.

8.5. Глубины горных выработок при изысканиях для зданий и сооружений, проектируемых на естественном основании, следует назначать в зависимости от величины сферы взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой и, прежде всего, величины сжимаемой толщи с заглублением ниже нее на 1-2 м.

При отсутствии данных о сжимаемой толще грунтов оснований фундаментов глубину горных выработок следует устанавливать в зависимости от типов фундаментов и нагрузок на них (этажности) по табл. 8.2.

Для массивов скальных грунтов с тектоническими нарушениями глубины горных выработок

Здание на ленточных фундаментах		Здание на отдельных опорах	
Нагрузка на фундамент, кН/м (этажность)	Глубина горной выработки от подошвы фундамента, м	Нагрузка на опору, кН	Глубина горной выработки от подошвы фундамента, м
До 100 (1)	4-6	До 500	4-6
200 (2-3)	6-8		5-7
500 (4-6)	9-12	2500	7-9
700 (7-10)	12-15	5000	9-13
1000 (11-16)	15-20	10000	11-15
2000 (более 16)	20-23	15000	12-19
		50000	18-26

Примечания

1 Меньшие значения глубин горных выработок принимаются при отсутствии подземных вод в сжимаемой толще грунтов основания, а большие - при их наличии.

2 Если в пределах глубин, указанных в таблице, залегают скальные грунты, то горные выработки необходимо проходить на 1-2 м ниже кровли слабовыветрелых грунтов или подошвы фундамента при его заложении на скальный грунт, но не более приведенных в таблице глубин.

Пример: Площадка строительства электровозного депо находится в г. Петрозаводске. При согласном залегании слоев порядок напластования указан в буровой колонке (рис. 16). Исходные характеристики грунтов приведены в табл. 6.

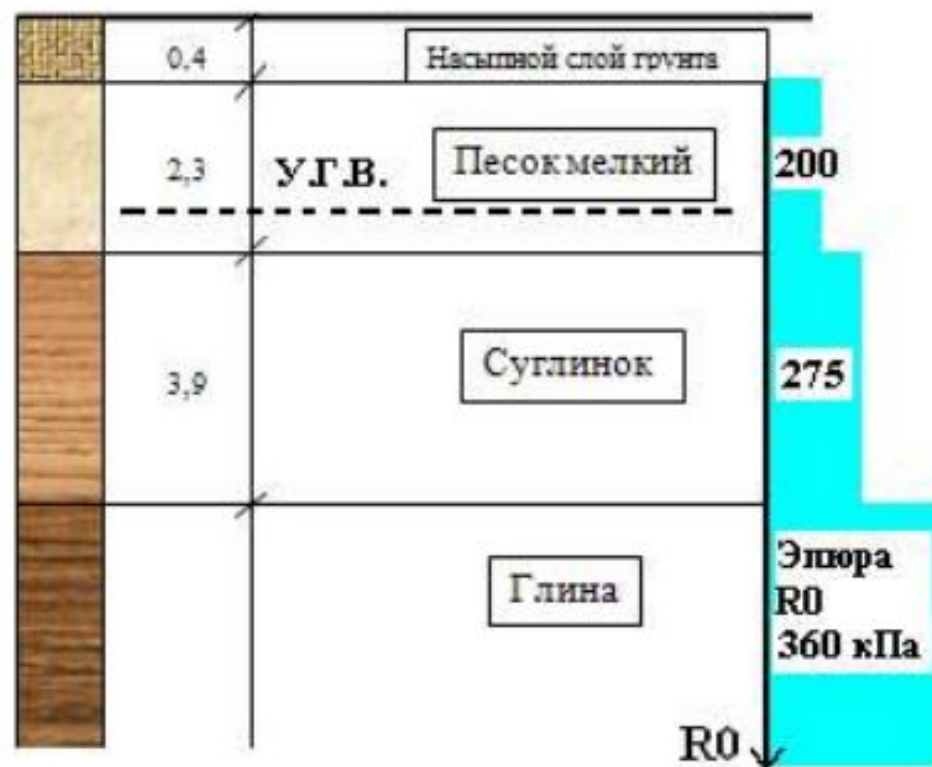


Рис. 16. Буровая колонка со схемой геологического напластования грунтов и с построенной эпюрой условного расчетного сопротивления основания (R_0) по каждому слою грунта (см. ниже).

**Характеристики грунтов для площадки строительства
электровозного депо**

Таблица 6

Название грунта	γ_s , кН/м ³	γ , кН/м ³	ω	ω_p	ω_L	E_0 , МПа	φ°	C_{II} , кПа	e	J_L	S_r
Насыпной	-	16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Песок мелкий	26,4	19,4	0,25	-	-	23	30	1	0,70	-	0,96
Суглинок	26,8	19,8	0,22	0,19	0,27	19	23	28	0,65	0,38	0,93
Глина	27,6	19,8	0,23	0,20	0,41	22	19	52	0,72	0,14	0,90

Анализируя инженерно-геологические условия площадки строительства, с расчётными характеристиками, представленными изыскателями, можно сделать следующие выводы:

1. Насыпной грунт имеет малую мощность, низкие расчётные характеристики (часто не определяемые изыскателями) и не может служить основанием.
2. Грунт 2-го слоя: мелкий песок, мощность 2,3 м. По табл. 3 и приведенным выше классификациям по (e , S_r и E_0) уточняем полное наименование грунта: песок мелкий, средней плотности, водонасыщенный, малосжимаемый. По табл. 4 определяем условное расчетное (давление) сопротивление: $R_0 = 200$ кПа.
3. Третий слой – суглинок. Мощность слоя 3,9 м, $e = 0,65$, $J_L = 0,38$, суглинок тугопластичной консистенции, средней сжимаемости ($E_0 = 19$ МПа, фундаменты тяжелонагруженные), условное расчетное (давление) сопротивление: по табл. 5 $R_0 = 275$ кПа (по интерполяции).

4. Четвёртый слой – глина, $e = 0,72$, $J_L = 0,14$. Глина полутвердой консистенции, малосжимаемая, условное расчетное (давление) сопротивление: по табл. 5 $R_0 = 360$ кПа.

Таким образом, все грунты, залегающие ниже насыпного слоя, обладают небольшой сжимаемостью и значительной прочностью, причем последняя нарастает с глубиной (этюра R_0 , рис.16). В качестве несущего слоя для фундаментов на естественном основании могут служить мелкий песок или суглинок; для свайных фундаментов – полутвердая глина. Песок является водоносным слоем (У.Г.В. на глубине 2,4 м), поэтому опирание подошвы фундаментов на суглинок потребует работ по водоотливу.

Анализ инженерно-геологических условий площадки строительства может быть выполнен не только с помощью таблиц и ручной интерполяции по вычислению R_0 , но и с помощью программного обеспечения, с использованием программы «GRUNT»: «Использование программного обеспечения в курсе механики грунтов, оснований и фундаментов», разработанной на кафедре «Основания и фундаменты» (см. сайт www.buildcalc.ru) [13].

Результаты такого программного расчёта в качестве примера в соответствии с рассматриваемыми исходными данными (см. выше), представлены в таблице 7. Не трудно заметить, что такое программное решение позволяет автоматически вычислить величины расчётного сопротивления R_0 каждого из рассматриваемых слоёв грунта. В рассматриваемом примере были получены следующие значения:

- Для песка мелкого $R_0=200$ кПа;
- Для суглинка тугопластичного $R_0=281$ кПа;
- Для глины полутвёрдой $R_0=365$ кПа;

Анализ инженерно-геологических условий площадки строительства

Работу выполнил: Иванов А.Г. (07-ПГС)

(Оценка инженерно-геологических условий площадки строительства). Таблица 7

№ Слоя	1	2	3	4
Наименование грунта	Песок пылеватый (насыпной слой)	Песок мелкий	Суглинок тугопластичный	Глина полутвердая
Мощность слоя, м	0,4	2,3	3,9	6
Удельный вес грунта γ , кН/м ³	16,5	19,4	19,8	19,8
Коэффициент пористости e	-	0,74	0,65	0,71
Степень влажности S	-	0,91	0,91	0,89
Показатель текучести \mathcal{I}_L	-		0,37	0,14
Угол внутреннего трения φ , град.	-	30	23	19
Сцепление C , кПа	-	1	28	52
E_0 , кПа	-	23000	19000	22000
R_0 , кПа	100	200	281	365

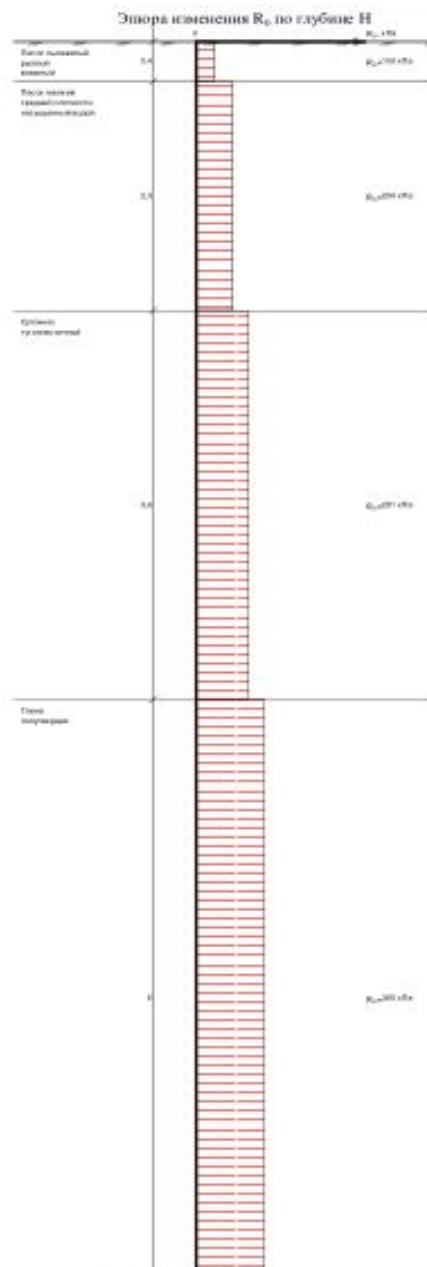


Рис. 17. Эпюра изменения расчётного сопротивления (R_0) отдельных слоёв грунта по глубине (H) рассматриваемого геологического разреза

В данном случае интерполяция величин R_0 выполнена автоматически и может уточняться (являться контролем) для предыдущих ручных вычислений.

Изменение характеристики R_0 грунтов по глубине рассматриваемого разреза, по желанию пользователя может быть представлено на экране компьютера и распечатано в текст пояснительной записки курсового проекта в виде эпюры $R_0=R_0(H)$ (рис. 17).

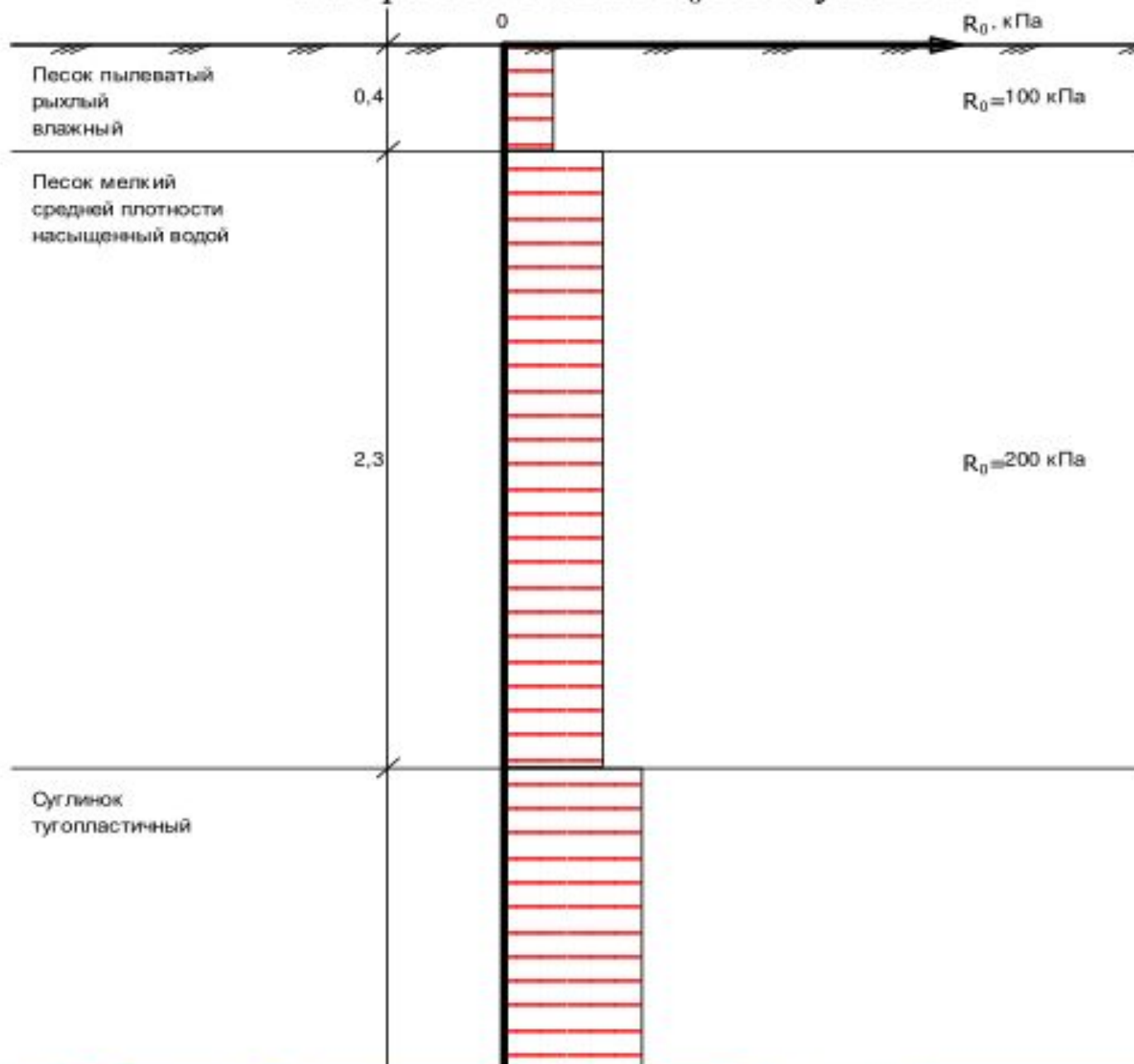
Эпюра на рис. 17 достаточно наглядно даёт представление о характере изменения расчётного сопротивления по глубине основания, позволяя выявить относительно "слабые" и "прочные" слои грунта. Такая интерпретация результатов расчёта даёт возможность обоснованно подойти к выбору несущего слоя грунта основания при вариантном проектировании фундаментов сооружений.

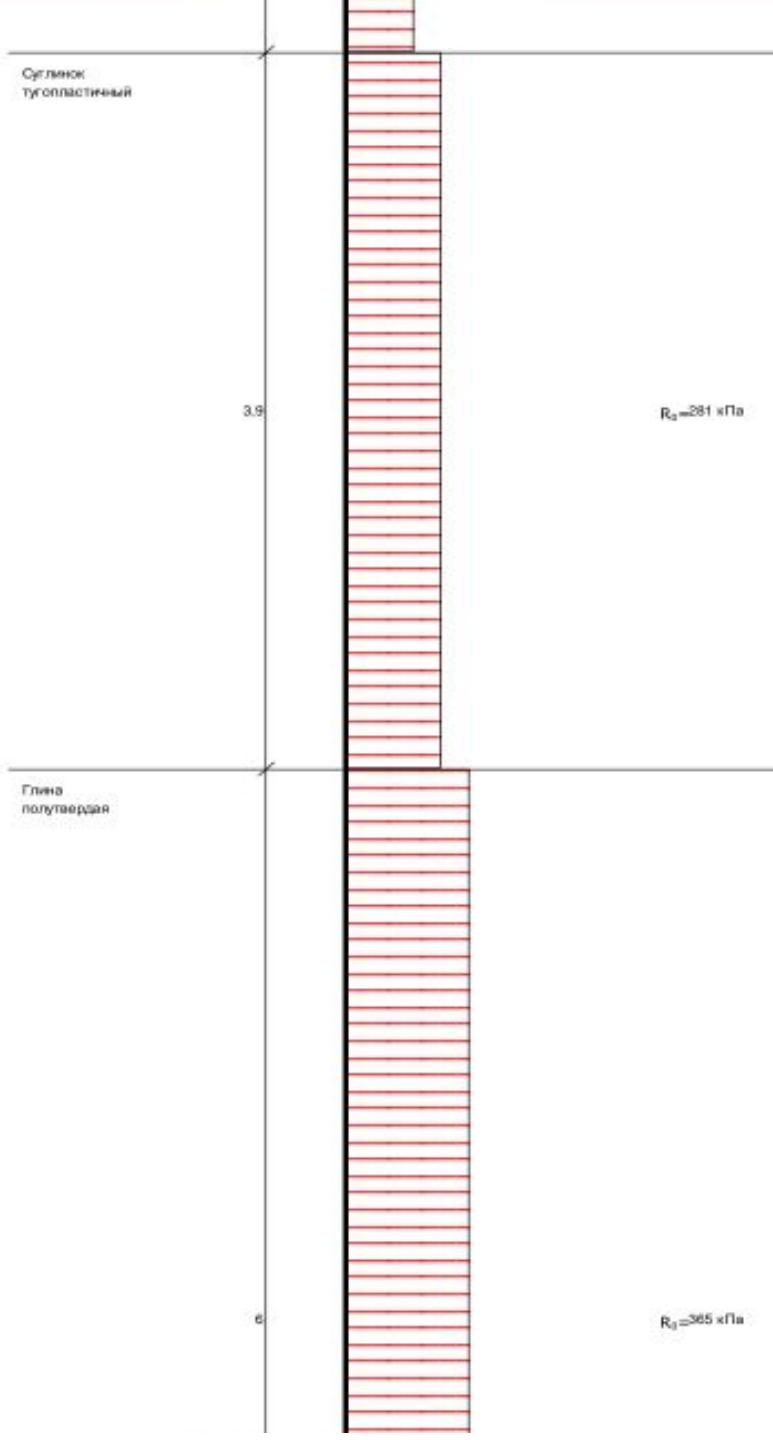
5. ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА НАГРУЗОК И КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗДАНИЯ

В табл. 1 приведены расчетные нагрузки по обрезу фундаментов для расчета по деформациям – вертикальная $F_{\text{вп}}^0$, горизонтальная $F_{\text{гп}}^0$ и момент $M_{\text{п}}^0$. При их анализе необходимо оценить:

а) абсолютные значения вертикальных нагрузок: при значениях нагрузки менее 500 кН для колонн и менее 200 кН/м для стен, фундаменты можно считать малонагруженными, при значениях нагрузок соответственно более 500 кН и 200 кН/м – тяжело нагруженными;

Эпюра изменения R_0 по глубине H





В данном случае интерполяция величин R_0 выполнена автоматически и может уточняться (являться контролем) для предыдущих ручных вычислений.

Изменение характеристики R_0 грунтов по глубине рассматриваемого разреза, по желанию пользователя может быть представлено на экране компьютера и распечатано в текст пояснительной записки курсового проекта в виде эпюры $R_0=R_0(H)$ (рис. 17).

Эпюра на рис. 17 достаточно наглядно даёт представление о характере изменения расчётного сопротивления по глубине основания, позволяя выявить относительно "слабые" и "прочные" слои грунта. Такая интерпретация результатов расчёта даёт возможность обоснованно подойти к выбору несущего слоя грунта основания при вариантном проектировании фундаментов сооружений.