

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**  
**ФГБОУ ВПО**  
**«Казанский государственный архитектурно-строительный университет»**

Кафедра оснований, фундаментов, динамики сооружений  
и инженерной геологии

**МЕХАНИКА ГРУНТОВ**  
Задания и методические указания  
к контрольной работе для студентов-заочников  
дистанционной формы обучения всех специальностей  
строительных вузов

Казань  
2012

УДК 624.131  
ББК 26.329

В методических указаниях даны задания, описания последовательности и примеры решения задач по МГ. Сост.: И.Т. Мирсаяпов, Д.Р. Сафин, Л.Ф.Сиразиев – Казань, КГАСУ, 2012.

Предназначены для студентов заочной дистанционной формы обучения технических специальностей строительных вузов и составлены в соответствии с действующими стандартами и учебными программами.

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2012

## ВВЕДЕНИЕ

Механика грунтов есть теория естественных грунтовых оснований. Роль механики грунтов как инженерной науки огромна, и ее можно сравнить с ролью дисциплины «Сопротивление материалов». Без знания основ механики грунтов не представляется возможным правильно запроектировать современные промышленные сооружения, жилые здания (особенно повышенной этажности), дорожные, земляные и гидротехнические сооружения.

Применение основ механики грунтов позволяет полно использовать несущую способность грунтов, достаточно точно учесть деформации грунтовых оснований под действием нагрузки от сооружений, что обуславливает принятие не только наиболее безопасных, но и наиболее экономичных решений.

Одновременно с изучением программного теоретического материала учебный план предусматривает практические занятия. Практические занятия являются одним из ответственных звеньев учебного процесса и имеют целью закрепить знания, полученные студентами за период изучения теоретического курса, а также должно способствовать умелому применению этих знаний при инженерном решении задач теории механики грунтов. В процессе выполнения контрольной работы студент должен научиться пользоваться действующими строительными нормами и правилами, руководствами, справочными и литературными материалами.

В методические указания включены лишь некоторые из наиболее важных задач, позволяющие студентам на практике закрепить, систематизировать и более глубоко усвоить теоретические положения курса "Механика грунтов".

### 1. УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТЫ

Исходные данные для решения задач выбираются студентом из таблиц 2.1 – 2.5 в соответствии с его личным учебным шифром (номером зачетной книжки). Шифром считаются последние две цифры номера зачетной книжки, если номер зачетной книжки – 06-92-1156, то учебным шифром будет 56. Первая и вторая цифры шифра используются для выбора исходных данных при решении задач.

Работа оформляется в ученической тетради или на листах бумаги формата А4, которые следует сброшюровать. Работа пишется вручную, чертежи и эпюры напряжений строятся в карандаше.

Получив после рецензирования контрольную работу, студент должен внести все указанные преподавателем исправления и дополнения. Исправления следует производить на том же листе (если позволяет место) или на отдельном и представить всю работу целиком на повторную рецензию.

### 2. ЗАДАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧ

**Задача №1.** К горизонтальной поверхности массива грунта в одном створе приложены три вертикальные сосредоточенные силы  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , расстояние между осями действия сил  $a$  и  $b$ . Определить величины вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_z$  от совместного действия сосредоточенных сил в точках массива грунта, расположенных в плоскости действия сил: 1) по вертикали I-I, проходящей через точку приложения силы  $P_2$ ; 2) по горизонтали II-II, проходящей на расстоянии  $h$  от поверхности массива грунта. Точки по вертикали расположить от поверхности на расстоянии 1,0, 2,0, 4,0, 6,0 м. Точки по горизонтали расположить вправо и влево от оси действия силы  $P_2$  на расстоянии 0, 1,0, 3,0 м. По вычисленным напряжениям и заданным осям построить эпюры распределения напряжений  $\sigma_z$ . Исходные данные приведены в таблице 2.1. Схема к расчету представлена на рисунке 2.1.

Таблица 2.1.

Номер варианта	По первой цифре шифра			По второй цифре шифра		
	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$P_3$ , кН	$a$ , м	$b$ , м	$h$ , м
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7
1	1600	700	1000	3,0	1,0	2,0
2	1800	900	1700	2,0	3,0	3,0
3	2000	400	1500	2,0	3,0	3,5
4	1400	800	1400	1,0	2,0	2,5
5	1700	700	1200	3,0	2,0	3,0
6	1800	600	1600	1,0	4,0	2,0
7	1400	500	1700	1,0	3,0	1,5
8	1300	400	1400	2,0	4,0	3,0
9	1500	800	1200	3,0	2,0	3,0
0	1600	400	1300	2,0	3,0	2,5

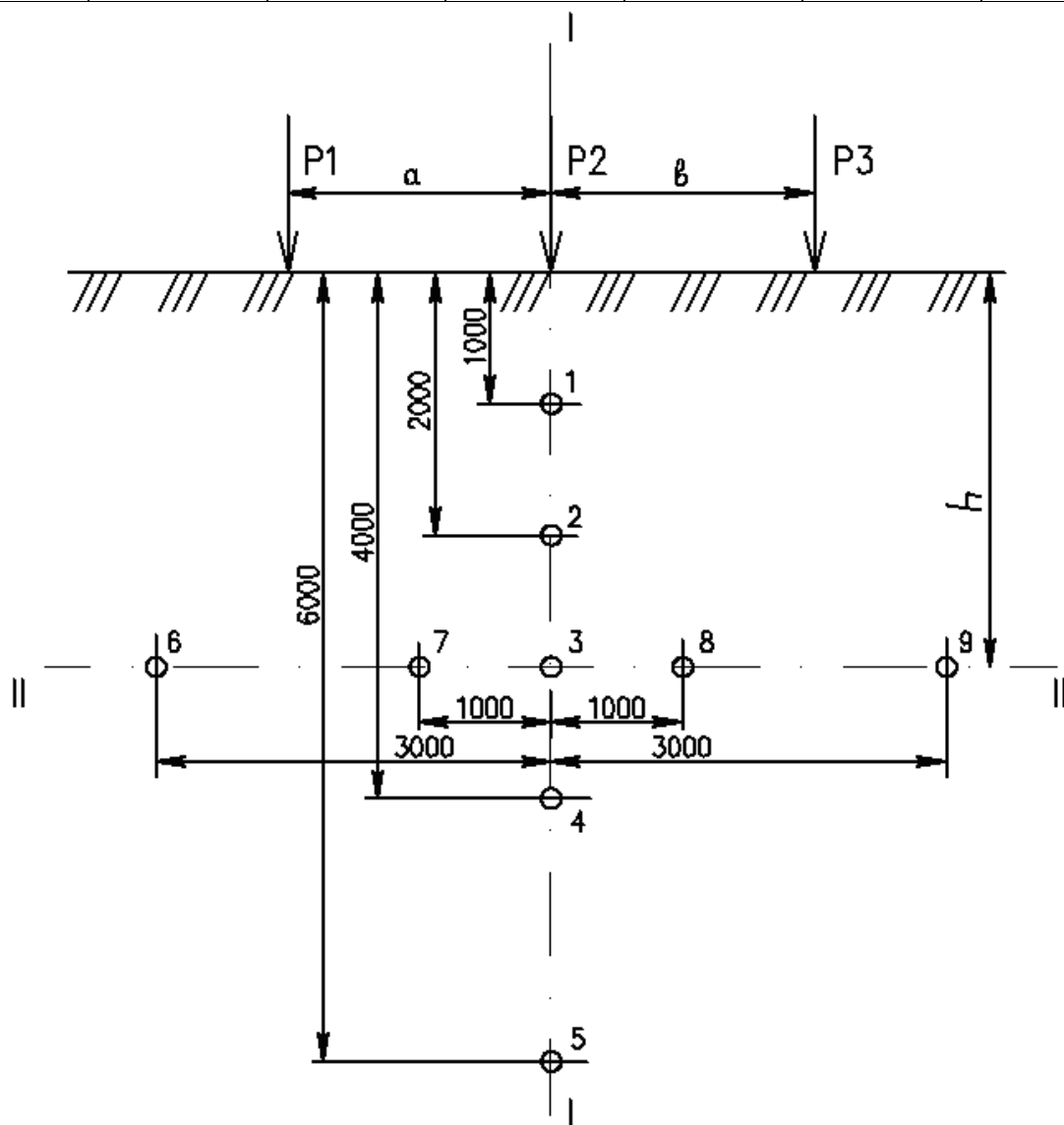


Рис.2.1. Схема к расчету напряжений в грунте от совместного действия сосредоточенных сил

**Задача №2.** Горизонтальная поверхность массива грунта по прямоугольным плитам с размерами в плане  $a_1 \times b_1$  и  $a_2 \times b_2$  нагружена равномерно распределенной вертикальной нагрузкой интенсивностью  $P_1$  и  $P_2$ . Определить величины вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_z$  от совместного действия внешних нагрузок в точках массива грунта для заданной вертикали, проходящей через одну из точек  $M_1, M_2, M_3$  на плите №1. Расстояние между осями плит нагружения  $L$ . Точки по вертикали расположить от поверхности на расстоянии  $1,0, 2,0, 4,0, 6,0$  м. По вычисленным напряжениям построить эпюру распределения  $\sigma_z$ . Исходные данные приведены в таблице 2.2. Схема к расчету представлена на рисунке 2.2.

Таблица 2.2.

Номер варианта	По первой цифре шифра		По второй цифре шифра		По первой цифре шифра			По второй цифре шифра
	$a_1, \text{ м}$	$b_1, \text{ м}$	$a_2, \text{ м}$	$b_2, \text{ м}$	$P_1, \text{ МПа}$	$P_2, \text{ МПа}$	$L, \text{ м}$	Расчетная вертикаль
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
1	3,50	2,20	4,20	2,30	0,25	0,36	2,80	$M_1$
2	3,00	2,50	3,60	2,50	0,35	0,30	3,20	$M_2$
3	2,50	2,00	4,80	2,50	0,36	0,40	3,10	$M_1$
4	2,60	2,10	5,00	2,70	0,32	0,38	3,45	$M_3$
5	2,40	2,30	3,60	2,30	0,28	0,39	3,00	$M_2$
6	2,00	2,00	3,00	2,50	0,30	0,35	3,10	$M_3$
7	2,60	2,20	4,20	2,50	0,33	0,43	3,30	$M_2$
8	2,80	2,00	3,80	2,40	0,34	0,38	3,00	$M_1$
9	4,80	2,20	5,50	2,50	0,42	0,34	4,10	$M_2$
0	4,80	2,20	3,80	2,40	0,24	0,38	2,9	$M_3$

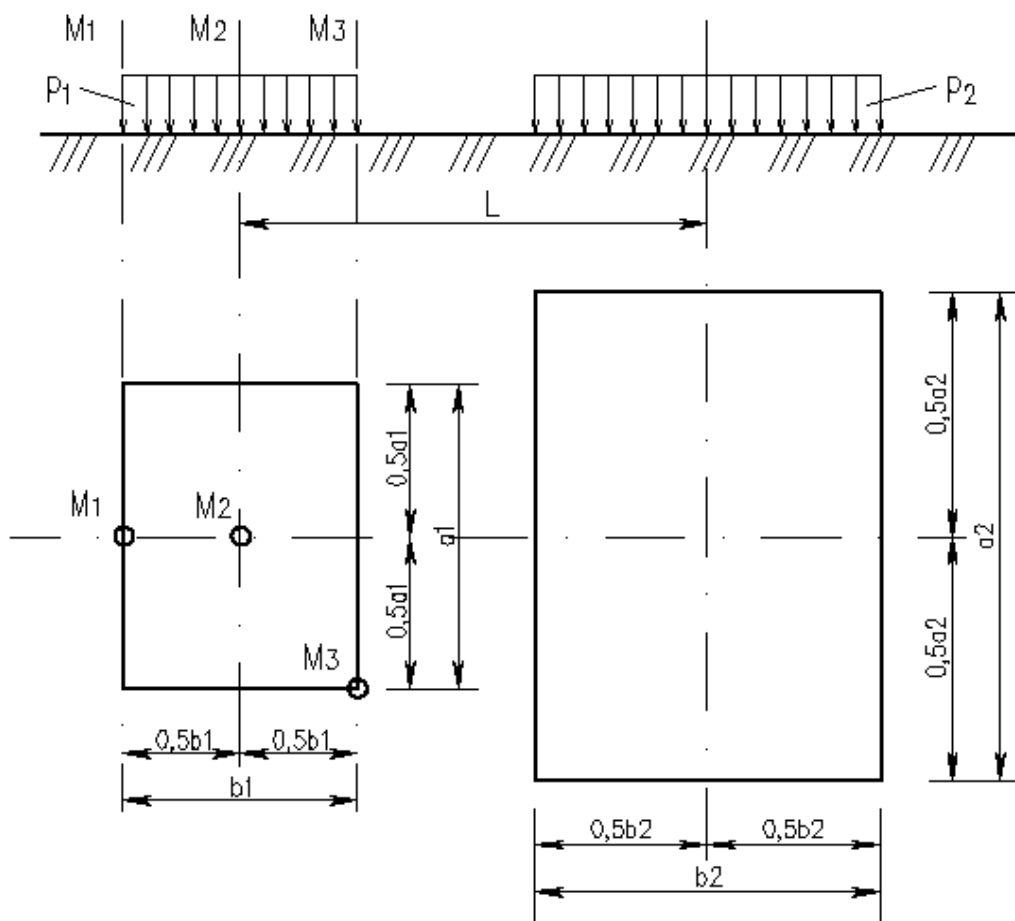


Рис.2.2. Схема к расчету напряжений в грунте методом угловых точек

**Задача №3.** К горизонтальной поверхности массива грунта приложена вертикальная неравномерная нагрузка, распределенная в пределах гибкой полосы (ширина полосы  $b$ ) по закону трапеции от  $P_1$  до  $P_2$ . Определить величины вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_z$  в точках массива грунта для заданной вертикали, проходящей через одну из точек  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5$  загруженной полосы и горизонтали, расположенной на расстоянии  $z$  от поверхности. Точки по вертикали расположить от поверхности на расстояниях  $1,0, 2,0, 4,0, 6,0$  м. Точки по горизонтали расположить вправо и влево от середины загруженной полосы на расстоянии  $0, 1,0, 3,0$  м. По вычисленным напряжениям построить эпюры распределения напряжений  $\sigma_z$ . Исходные данные приведены в таблице 2.3. Схема к расчету представлена на рисунке 2.3.

Таблица 2.3

Номер варианта	По первой цифре шифра		По второй цифре шифра		По первой цифре шифра
	$b$ , м	$z$ , м	$P_1$ , МПа	$P_2$ , МПа	Расчетная вертикаль
1	2	3	4	5	6
1	3,00	1,00	0,12	0,22	$M_1$
2	5,00	3,00	0,18	0,28	$M_2$
3	4,00	2,00	0,22	0,32	$M_3$
4	5,00	2,00	0,26	0,36	$M_4$
5	6,00	4,00	0,14	0,24	$M_5$
6	4,00	2,00	0,16	0,26	$M_5$
7	6,00	3,00	0,24	0,34	$M_4$
8	5,00	4,00	0,15	0,25	$M_3$
9	4,00	2,00	0,13	0,23	$M_2$
0	3,00	1,00	0,21	0,31	$M_1$

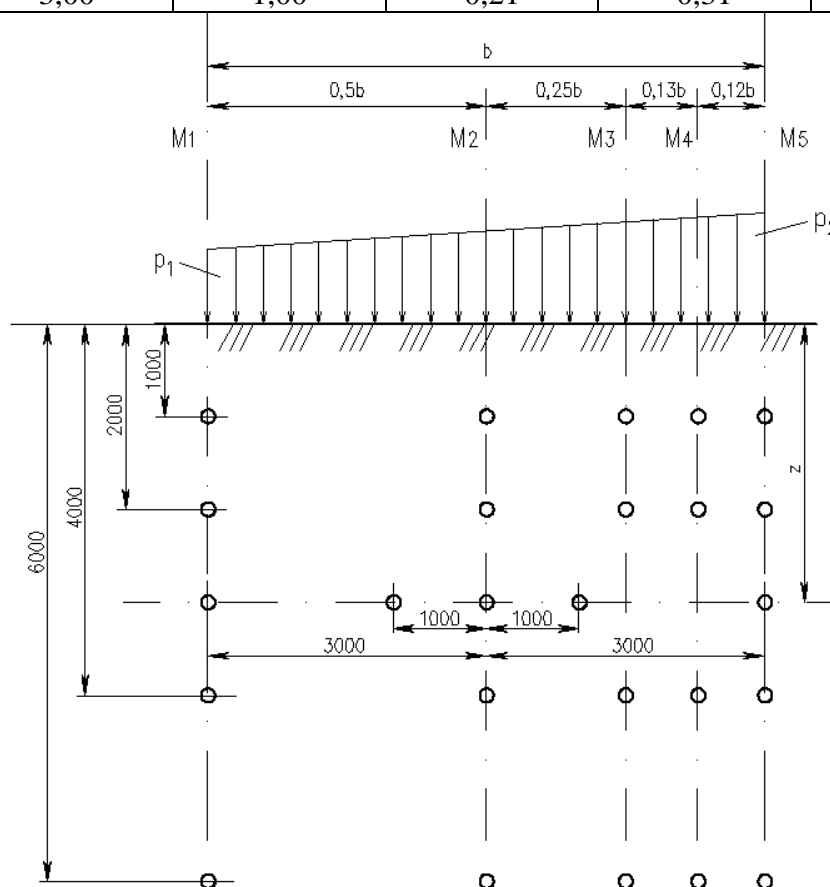


Рис.2.3. Схема к расчету напряжений в грунте от действия неравномерно распределенной полосообразной нагрузки

**Задача №4.** Подпорная стенка высотой  $H$  с абсолютно гладкими вертикальными гранями и горизонтальной поверхностью засыпки грунта за стенкой имеет заглубление фундамента  $h'$ . Определить активное и пассивное давление грунта на подпорную стенку при различных случаях загрузки и грунтовых условиях:

- а) грунт сыпучий;
- б) грунт сыпучий с пригрузом интенсивностью  $q$ , кПа;
- в) грунт связный.

Исходные данные приведены в таблице 2.4. Схема к расчету представлена на рисунке 2.4.

Таблица 2.4

Номер варианта	По первой цифре шифра		По второй цифре шифра		По первой цифре шифра			По второй цифре шифра
	H, м	$h'$ , м	Грунт сыпучий		Грунт связный			
			$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$\varphi$ , град	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$\varphi$ , град	$c$ , кПа	$q$ , кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	6,00	1,80	19,6	17	20,5	16	16	150
2	8,00	2,20	21,5	21	19,8	19	18	220
3	7,00	2,00	20,6	16	20,2	17	15	160
4	5,00	1,90	19,1	14	20,9	18	21	150
5	9,00	2,50	20,3	25	20,8	21	23	180
6	4,00	1,60	21,8	18	19,7	20	19	120
7	6,00	1,90	20,8	12	20,6	14	14	240
8	10,00	3,20	19,4	19	19,8	22	22	200
9	8,00	2,30	20,4	16	19,6	23	20	150
0	7,00	2,40	21,3	20	20,4	19	25	140

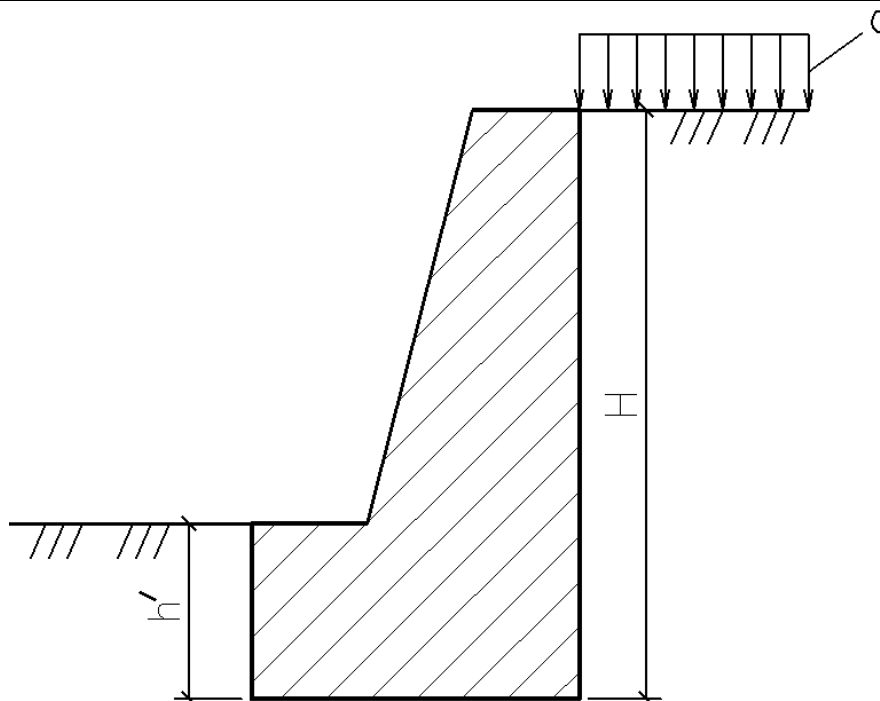


Рис.2.4. Схема к расчету подпорной стенки

**Задача №5.** Равномерно распределенная полосообразная (ширина полосы  $b$ ) нагрузка интенсивностью  $p$  приложена на глубине  $h$  от горизонтальной поверхности слоистой толщи грунтов. Определить по методу послойного суммирования с учетом только осевых

сжимающих напряжений величину полной стабилизированной осадки грунтов. С поверхности залегают песчаный грунт (мощность  $h_1$ , плотность грунта  $\rho_1$ , плотность частиц грунта  $\rho_{s1}$ , природная влажность  $W$ , модуль общей деформации  $E_{01}$ ), подстилаемый водонепроницаемой глиной ( $h_2, \rho_2, E_{02}$ ). Уровень грунтовых вод расположен в слое песчаного грунта на расстоянии  $h_b$  от уровня подстилающего слоя. Исходные данные приведены в табл.2.5. Схема к расчету представлена на рис.2.5.

Таблица 2.5.

Номер варианта	По первой цифре шифра			По второй цифре шифра				По первой цифре шифра				
	$b$ , м	$h$ , м	$p$ , МПа	$h_1$ , м	$\rho_1$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{s1}$ , г/см <sup>3</sup>	$W$ , %	$E_{01}$ , МПа	$h_2$ , м	$\rho_2$ , г/см <sup>3</sup>	$E_{02}$ , МПа	$h_b$ , м
1	2,40	1,30	0,38	3,20	1,98	2,65	12,4	24	7,60	2,01	28	1,60
2	1,20	1,50	0,18	2,80	1,89	2,66	9,8	17	3,60	1,95	18	1,20
3	2,80	1,40	0,36	3,60	2,05	2,65	11,8	15	7,50	1,92	38	1,10
4	1,60	1,60	0,28	3,50	2,09	2,66	14,1	13	3,70	2,02	31	2,20
5	1,40	1,20	0,26	3,10	1,99	2,67	10,6	16	4,20	1,89	32	1,50
6	2,00	1,60	0,32	4,60	2,02	2,66	13,3	18	4,40	1,97	23	2,90
7	3,20	1,20	0,41	5,20	2,09	2,67	15,2	28	8,20	2,06	42	2,30
8	2,40	1,50	0,31	3,90	2,01	2,65	12,9	21	6,90	1,91	29	1,70
9	1,60	1,30	0,22	4,30	1,94	2,65	10,2	19	3,90	2,08	20	2,40
0	2,00	1,70	0,27	4,10	1,96	2,66	11,2	13	4,80	1,99	24	1,80

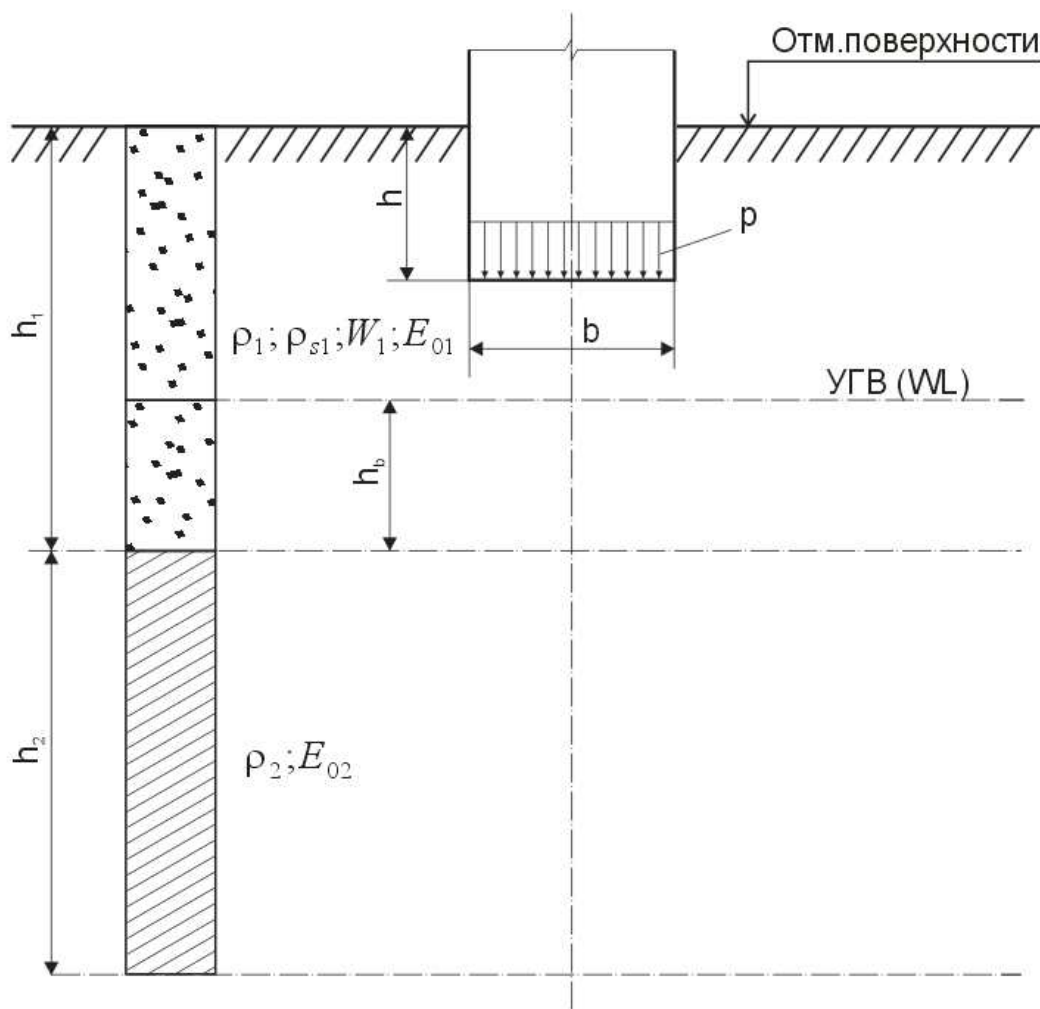


Рис.2.5. Схема к расчету методом послойного суммирования



**Задача №6.** Равномерно распределенная в пределах прямоугольной площадки  $a \times b$  нагрузка интенсивностью  $p$  приложена к слою суглинка (мощность  $h_1$ , коэффициент относительной сжимаемости  $m_{v1}$ , коэффициент фильтрации  $K_{\phi1}$ ), подстилаемому глиной ( $h_2, m_{v2}, K_{\phi2}$ ). Определить по методу эквивалентного слоя величину полной стабилизированной осадки грунтов, изменение осадки грунтов во времени в условиях одномерной задачи теории фильтрационной консолидации, построить график стабилизации осадки вида  $S = f(t)$ . Исходные данные приведены в табл.2.6. Схема к расчету представлена на рис.2.6.

Таблица 2.6.

Номер варианта	По первой цифре шифра					По второй цифре шифра			
	$a$ , м	$b$ , м	$p$ , МПа	$h_1$ , м	$m_{v1}$ , МПа <sup>-1</sup>	$K_{\phi1}$ , см/с	$h_2$ , м	$m_{v2}$ , МПа <sup>-1</sup>	$K_{\phi2}$ , см/с
1	2,00	2,00	0,24	2,30	0,176	$2,2 \cdot 10^{-8}$	3,90	0,284	$4,13 \cdot 10^{-9}$
2	2,20	2,20	0,21	2,80	0,139	$4,3 \cdot 10^{-8}$	4,10	0,215	$4,6 \cdot 10^{-9}$
3	3,60	2,40	0,19	3,10	0,065	$1,2 \cdot 10^{-8}$	4,80	0,124	$2,5 \cdot 10^{-9}$
4	3,50	1,75	0,17	3,20	0,076	$2,4 \cdot 10^{-7}$	3,50	0,381	$1,8 \cdot 10^{-8}$
5	5,60	2,80	0,22	3,80	0,105	$5,1 \cdot 10^{-8}$	5,60	0,245	$6,9 \cdot 10^{-9}$
6	3,00	2,00	0,23	2,90	0,087	$2,3 \cdot 10^{-8}$	4,30	0,147	$3,8 \cdot 10^{-9}$
7	3,20	3,20	0,18	2,40	0,148	$1,4 \cdot 10^{-7}$	5,80	0,258	$5,6 \cdot 10^{-8}$
8	3,80	1,90	0,28	3,90	0,105	$2,7 \cdot 10^{-8}$	3,40	0,276	$1,6 \cdot 10^{-9}$
9	1,90	1,90	0,16	1,80	0,222	$1,7 \cdot 10^{-8}$	4,40	0,065	$8,4 \cdot 10^{-8}$
0	2,50	2,50	0,26	2,70	0,095	$6,4 \cdot 10^{-8}$	4,70	0,196	$3,2 \cdot 10^{-9}$

**Примечание.** При определении значения коэффициента эквивалентного слоя  $A\omega_{const}$  (для абсолютно жестких фундаментов), коэффициент относительной поперечной деформации для сжимаемой толщи грунтов можно принять  $\mu_0 = 0,3$ .

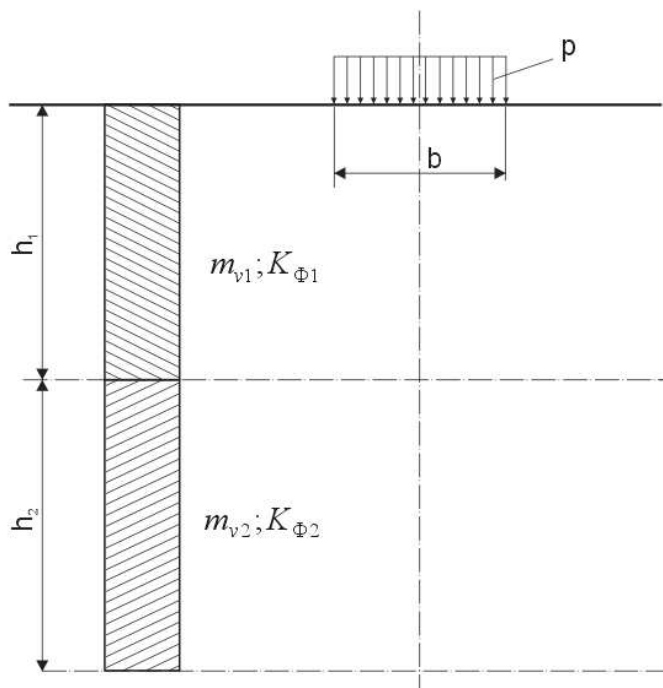


Рис.2.6. Схема к расчету методом эквивалентного слоя

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

#### 3.1. Задача №1. Определение напряжений в грунте от действия сосредоточенных сил

Для случая, когда к горизонтальной поверхности массива грунта приложено несколько сосредоточенных сил  $P_1, P_2, P_3 \dots P_n$ , величины вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_z$  в любой точке массива грунта можно определить суммированием составляющих напряжений от действия каждой силы в отдельности с использованием зависимости

$$\sigma_{zi} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i P_i}{z_i^2}, \quad (3.1.1)$$

где  $k_i$  - коэффициент, являющийся функцией отношения  $r_i / z_i$ ;

$r_i$  - расстояние по горизонтальной оси от рассматриваемой точки до оси  $z$ , проходящей через точку приложения сосредоточенной силы  $P_i$ ;

$z_i$  - глубина рассматриваемой точки от плоскости приложения сосредоточенной силы  $P_i$ .

Значения коэффициента  $k$  приведены в табл.4.1 [2], табл.3.1 [5] или в таблице 1.1 приложения настоящих методических указаний.

При построении расчетной схемы и эпюр напряжений следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 0,05 МПа в 1 см.

#### Пример расчета

Дано:  $P_1 = 1100 \text{ кН}$ ,  $P_2 = 700 \text{ кН}$ ,  $P_3 = 1800 \text{ кН}$ ,  $a = 2,0 \text{ м}$ ,  $b = 3,0 \text{ м}$ ,  $h = 3,0 \text{ м}$ .

Решение. Определяем напряжения в точках, расположенных по вертикали I-I.

Точка 1  $z=1 \text{ м}$ .

$r_1=2 \text{ м}$   $r_1/z=2/1=2$   $k_1=0,0085$

$r_2=0$   $r_2/z=0/1=0$   $k_2=0,4775$

$r_3=3 \text{ м}$   $r_3/z=3/1=3$   $k_3=0,0015$

$$\sigma_{z1} = 0.0085 \frac{1100}{1^2} + 0.4775 \frac{700}{1^2} + 0.0015 \frac{1800}{1^2} = 346 \text{ кПа} = 0,346 \text{ МПа}.$$

Точка 2  $z=2 \text{ м}$ .

$r_1=2 \text{ м}$   $r_1/z=2/2=1$   $k_1=0,0844$

$r_2=0$   $r_2/z=0/2=0$   $k_2=0,4775$

$r_3=3 \text{ м}$   $r_3/z=3/2=1,5$   $k_3=0,0251$

$$\sigma_{z1} = 0.0844 \frac{1100}{2^2} + 0.4775 \frac{700}{2^2} + 0.0251 \frac{1800}{2^2} = 118 \text{ кПа} = 0,118 \text{ МПа}.$$

Точка 3  $z=3 \text{ м}$ .

$r_1=2 \text{ м}$   $r_1/z=2/3=0,6667$   $k_1=0,1889$

$r_2=0$   $r_2/z=0/3=0$   $k_2=0,4775$

$$r_3=3 \text{ м} \quad r_3/z=3/3=1 \quad k_3=0,0844$$

$$\sigma_{z1} = 0.1889 \frac{1100}{3^2} + 0.4775 \frac{700}{3^2} + 0.0844 \frac{1800}{3^2} = 77,1 \text{ кПа} = 0,077 \text{ МПа.}$$

Точка 4  $z=4 \text{ м.}$

$$r_1=2 \text{ м} \quad r_1/z=2/4=0,5 \quad k_1=0,2733$$

$$r_2=0 \quad r_2/z=0/4=0 \quad k_2=0,4775$$

$$r_3=3 \text{ м} \quad r_3/z=3/4=0,75 \quad k_3=0,1565$$

$$\sigma_{z1} = 0.2733 \frac{1100}{4^2} + 0.4775 \frac{700}{4^2} + 0.1565 \frac{1800}{4^2} = 57,3 \text{ кПа} = 0,057 \text{ МПа.}$$

Точка 5  $z=6 \text{ м.}$

$$r_1=2 \text{ м} \quad r_1/z=2/6=0,33 \quad k_1=0,3687$$

$$r_2=0 \quad r_2/z=0/6=0 \quad k_2=0,4775$$

$$r_3=3 \text{ м} \quad r_3/z=3/6=0,5 \quad k_3=0,2733$$

$$\sigma_{z1} = 0.3687 \frac{1100}{6^2} + 0.4775 \frac{700}{6^2} + 0.2733 \frac{1800}{6^2} = 34,2 \text{ кПа} = 0,034 \text{ МПа.}$$

Определяем напряжения в точках расположенных по горизонтали II-II.

Точка 6  $z=3 \text{ м.}$

$$r_1=1 \text{ м} \quad r_1/z=1/3=0,33 \quad k_1=0,3687$$

$$r_2=3 \text{ м} \quad r_2/z=3/3=1 \quad k_2=0,0844$$

$$r_3=6 \text{ м} \quad r_3/z=6/3=2 \quad k_3=0,0085$$

$$\sigma_{z1} = 0.3687 \frac{1100}{3^2} + 0.0844 \frac{700}{3^2} + 0.0085 \frac{1800}{3^2} = 53,3 \text{ кПа} = 0,053 \text{ МПа.}$$

Точка 7  $z=3 \text{ м.}$

$$r_1=1 \text{ м} \quad r_1/z=1/3=0,33 \quad k_1=0,3687$$

$$r_2=1 \text{ м} \quad r_2/z=1/3=0,33 \quad k_2=0,3687$$

$$r_3=4 \text{ м} \quad r_3/z=4/3=1,33 \quad k_3=0,0374$$

$$\sigma_{z1} = 0.3687 \frac{1100}{3^2} + 0.3687 \frac{700}{3^2} + 0.0374 \frac{1800}{3^2} = 81,2 \text{ кПа} = 0,081 \text{ МПа.}$$

Точка 8  $z=3 \text{ м.}$

$$r_1=3 \text{ м} \quad r_1/z=3/3=1 \quad k_1=0,0844$$

$$r_2=1 \text{ м} \quad r_2/z=1/3=0,33 \quad k_2=0,3687$$

$$r_3=2 \text{ м} \quad r_3/z=2/3=0,67 \quad k_3=0,1889$$

$$\sigma_{z1} = 0.0844 \frac{1100}{3^2} + 0.3687 \frac{700}{3^2} + 0.1889 \frac{1800}{3^2} = 76,7 \text{ кПа} = 0,077 \text{ МПа.}$$

Точка 9  $z=3 \text{ м.}$

$$r_1=5 \text{ м} \quad r_1/z=5/3=1,67 \quad k_1=0,0171$$

$$r_2=3 \text{ м} \quad r_2/z=3/3=1 \quad k_2=0,0844$$

$$r_3=0 \quad r_3/z=0/3=0 \quad k_3=0,4775$$

$$\sigma_{z1} = 0.0171 \frac{1100}{3^2} + 0.0844 \frac{700}{3^2} + 0.4775 \frac{1800}{3^2} = 104 \text{ кПа} = 0,104 \text{ МПа.}$$

По полученным значениям напряжений строим эпюры распределения напряжений по соответствующим точкам (рис.3.1).

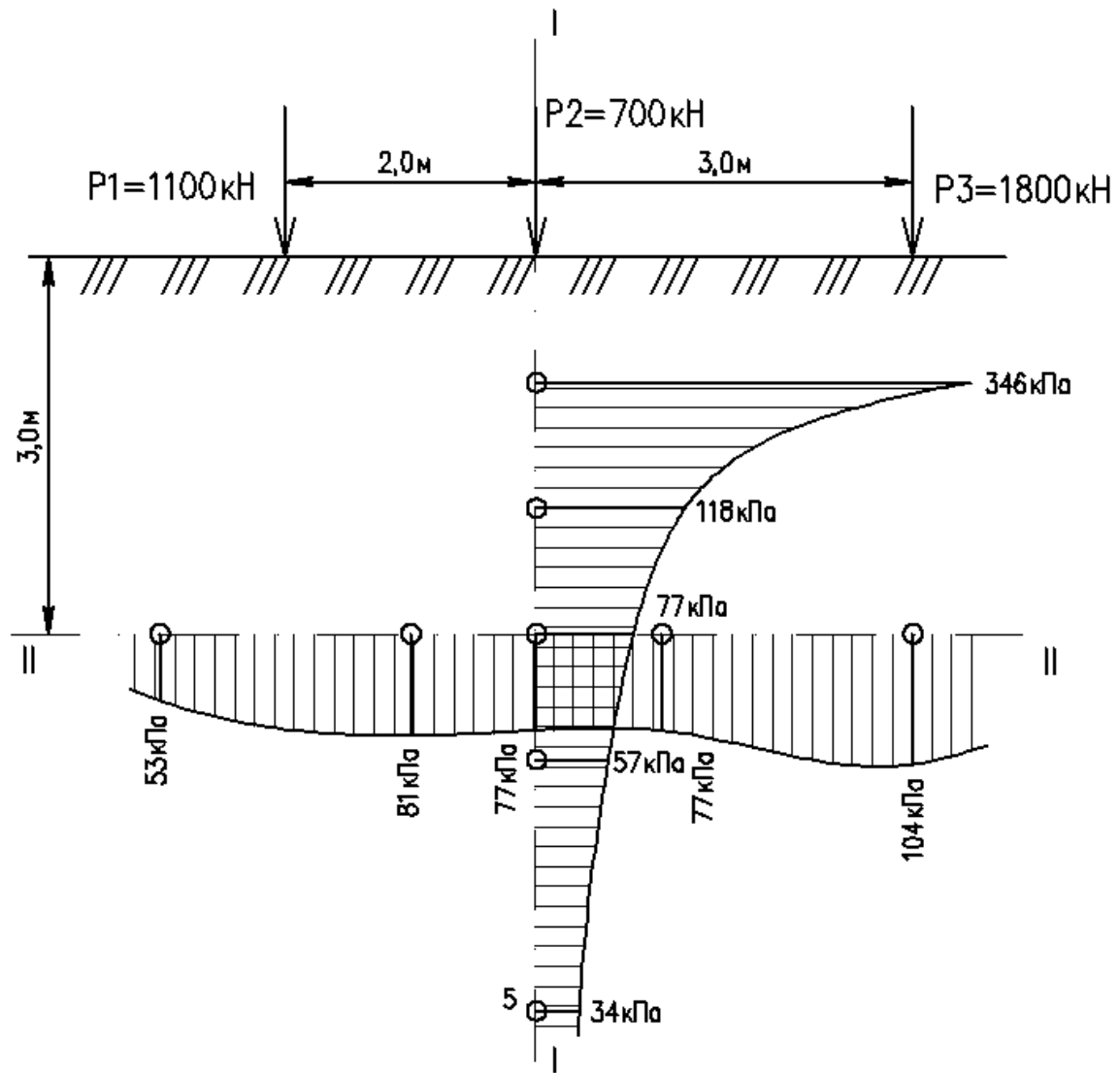


Рис. 3.1. Эпюры напряжений

### 3.2. Задача №2.

#### Определение напряжений в грунте методом угловых точек

Распределение по глубине вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_{zc}$  в любой точке массива грунта от действия равномерно распределенной нагрузки в пределах или за пределами плит нагружения может быть определено по методу угловых точек по формуле

$$\sigma_{zc} = k_c \cdot p, \quad (3.2)$$

где  $k_c$  - коэффициент, определяемый в зависимости от отношения сторон прямоугольной площади загрузки  $a/b$  ( $a$  - длинная ее сторона,  $b$  - ее ширина) и отношения  $z/b$  ( $z$  - глубина, на которой определяется напряжение  $\sigma_{zc}$ );

$p$  - интенсивность равномерно распределенной нагрузки.

В соответствии с этим заданные плиты нагружения разбивают на прямоугольники таким образом, чтобы они имели общую угловую точку, через

которую проходит расчетная вертикаль  $M_i$ . Для каждого из этих прямоугольников со сторонами  $a_i \geq b_i$  с помощью таблиц определяют значения коэффициента  $k_{ci}$  и, пользуясь принципом независимости действия сил, находят алгебраическим суммированием напряжения в заданных точках массива. Значения коэффициента  $k_c$  приведены в табл.3.5 [5] и в табл.1.2 приложения настоящих методических указаний.

Масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 0,05 МПа в 1 см.

### Пример расчета

Дано:

$a_1 = 2,5\text{ м}, b_1 = 1,9\text{ м}, P_1 = 0,29\text{ МПа}, a_2 = 6,0\text{ м}, b_2 = 2,8\text{ м}, P_2 = 0,33\text{ МПа}, L = 2,8\text{ м}$ , расчетная вертикаль  $M_3$ .

Решение. Заданные плиты нагружения разбиваем на прямоугольники таким образом, чтобы они имели общую угловую точку, через которую проходит расчетная вертикаль  $M_3$  (рис. 2.2). Таким образом, имеем 5 прямоугольников:

1.  $a_1 = 2,5\text{ м}, b_1 = 1,9\text{ м}, P_1 = 0,29\text{ МПа}$ .
2.  $a_2 = 4,25\text{ м}, b_2 = 3,25\text{ м}, P_2 = 0,33\text{ МПа}$ .
3.  $a_3 = 3,25\text{ м}, b_3 = 1,75\text{ м}, P_3 = 0,33\text{ МПа}$ .
4.  $a_4 = 4,25\text{ м}, b_4 = 0,45\text{ м}, P_4 = 0,33\text{ МПа}$ .
5.  $a_5 = 1,75\text{ м}, b_5 = 0,45\text{ м}, P_5 = 0,33\text{ МПа}$ .

Искомые напряжения найдем, суммируя напряжения от действия нагрузки по прямоугольникам 1, 2, 3 взятым со знаком «плюс» и напряжения от действия нагрузки по прямоугольникам 4, 5 со знаком «минус».

**z=1 м**

1.  $\alpha_1 = \frac{a_1}{b_1} = 2,5/1,9 = 1,32, \quad \beta_1 = \frac{z}{b_1} = 1/1,9 = 0,53, \quad k_{c1} = 0,2352.$
2.  $\alpha_2 = 1,31, \quad \beta_2 = 0,31, \quad k_{c2} = 0,2457.$
3.  $\alpha_3 = 1,86, \quad \beta_3 = 0,57, \quad k_{c3} = 0,232.$
4.  $\alpha_4 = 9,44, \quad \beta_4 = 2,22, \quad k_{c4} = 0,128.$
5.  $\alpha_5 = 3,89, \quad \beta_5 = 2,22, \quad k_{c5} = 0,1251.$

$$\sigma_{zc1} = k_{c1} \cdot P_1 + (k_{c2} + k_{c3} - k_{c4} - k_{c5}) \cdot P_2 = 0,2352 \cdot 0,29 + (0,2457 + 0,232 - 0,128 - 0,1251) \cdot 0,33 = 0,142\text{ МПа}.$$

**z=2 м**

1.  $\alpha_1 = 1,32, \quad \beta_1 = 1,06, \quad k_{c1} = 0,1782.$
2.  $\alpha_2 = 1,31, \quad \beta_2 = 0,62, \quad k_{c2} = 0,2286.$
3.  $\alpha_3 = 1,86, \quad \beta_3 = 1,14, \quad k_{c3} = 0,1983.$
4.  $\alpha_4 = 9,44, \quad \beta_4 = 4,4, \quad k_{c4} = 0,069.$
5.  $\alpha_5 = 3,89, \quad \beta_5 = 4,4, \quad k_{c5} = 0,0597.$

$$\sigma_{zc2} = 0,1782 \cdot 0,29 + (0,2286 + 0,1983 - 0,069 - 0,0597) \cdot 0,33 = 0,15\text{ МПа}.$$

**z=4 м**

- |                       |                   |                    |
|-----------------------|-------------------|--------------------|
| 1. $\alpha_1 = 1,32,$ | $\beta_1 = 2,11,$ | $k_{c1} = 0,0933.$ |
| 2. $\alpha_2 = 1,31,$ | $\beta_2 = 1,23,$ | $k_{c2} = 0,1654.$ |
| 3. $\alpha_3 = 1,86,$ | $\beta_3 = 2,28,$ | $k_{c3} = 0,1009.$ |
| 4. $\alpha_4 = 9,44,$ | $\beta_4 = 8,89,$ | $k_{c4} = 0,0316.$ |
| 5. $\alpha_5 = 3,89,$ | $\beta_5 = 8,89,$ | $k_{c5} = 0,0199.$ |

$$\sigma_{zc3} = 0,0933 \cdot 0,29 + (0,1654 + 0,1009 - 0,0316 - 0,0199) \cdot 0,33 = 0,071 \text{ МПа.}$$

**z=6 м**

- |                       |                   |                    |
|-----------------------|-------------------|--------------------|
| 1. $\alpha_1 = 1,32,$ | $\beta_1 = 3,16,$ | $k_{c1} = 0,0508.$ |
| 2. $\alpha_2 = 1,31,$ | $\beta_2 = 1,85,$ | $k_{c2} = 0,1013.$ |
| 3. $\alpha_3 = 1,86,$ | $\beta_3 = 3,43,$ | $k_{c3} = 0,0571.$ |
| 4. $\alpha_4 = 9,44,$ | $\beta_4 = 13,3,$ | $k_{c4} = 0,0155.$ |
| 5. $\alpha_5 = 3,89,$ | $\beta_5 = 13,3,$ | $k_{c5} = 0,0084.$ |

$$\sigma_{zc4} = 0,0508 \cdot 0,29 + (0,1013 + 0,0571 - 0,0155 - 0,0084) \cdot 0,33 = 0,059 \text{ МПа.}$$

По полученным значениям напряжений строим эпюру распределения напряжений  $\sigma_z$  (рис.3.2).

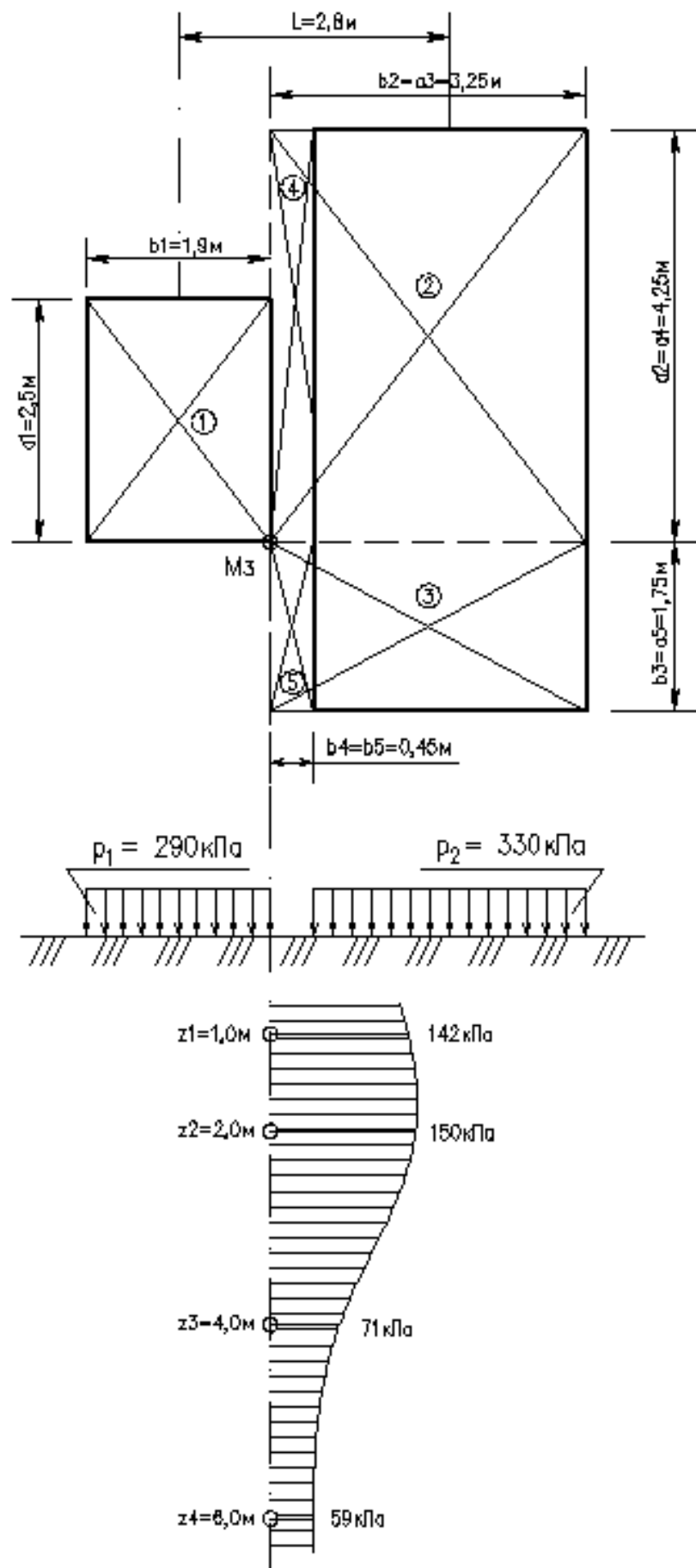


Рис.3.2. Эпюра напряжений

### 3.3. Задача №3.

#### Определение напряжений в грунте от действия равномерно распределенной нагрузки

Для случая действия на поверхности массива грунта нагрузки, распределенной в пределах гибкой полосы по трапециевидной эпюре, величину вертикального сжимающего напряжения в заданной точке массива грунта определяют путем суммирования напряжений от прямоугольного и треугольного элементов эпюры внешней нагрузки.

Вертикальные напряжения  $\sigma_z$ , возникающие от действия полосообразной равномерно распределенной нагрузки (прямоугольный элемент эпюры внешней нагрузки), определяют по формуле:

$$\sigma_z = k_z \cdot p, \quad (3.3.1)$$

где  $k_z$  - коэффициент, определяемый в зависимости от величины относительных координат  $z/b$  и  $y/b$ , табл. 1.3 приложения 1 настоящих методических указаний;

$p$  – вертикальная равномерно распределенная нагрузка.

Вертикальные напряжения  $\sigma'_z$ , возникающие от действия полосообразной неравномерной нагрузки, распределенной по закону треугольника (треугольный элемент эпюры внешней нагрузки), определяются по формуле

$$\sigma'_z = k'_z \cdot p, \quad (3.3.2)$$

где  $k'_z$  - коэффициент, определяемый в зависимости от величины относительных координат  $z/b$  и  $y/b$ , табл. 1.4 приложения 1 настоящих методических указаний;

$P$  – наибольшая ордината треугольной нагрузки.

При построении расчетной схемы и эпюр напряжений следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 0,05 МПа в 1 см.

#### Пример расчета

Дано:  $b = 6,0\text{ м}$ ,  $P_1 = 0,14\text{ МПа}$ ,  $P_2 = 0,24\text{ МПа}$ ,  $z = 4,0\text{ м}$ , расчетная вертикаль  $M_5$ .

Решение. При расчете вертикальных напряжений равномерно распределенную нагрузку принимаем  $P = P_1 = 0,14\text{ МПа}$ , при этом наибольшая ордината треугольной нагрузки  $P' = P_2 - P_1 = 0,24 - 0,14 = 0,1\text{ МПа}$ . Начало координат для равномерно распределенной нагрузки находится в середине полосы нагружения, а начало координат для неравномерно распределенной нагрузки находится с краю полосы нагружения, где значение треугольной нагрузки равно нулю.

Вычисляем напряжения в расчетных точках:

##### Точка 1

$$\begin{array}{lll} z=1\text{ м}, y=3\text{ м}, b=6\text{ м}, & z/b=1/6=0.17, & y/b=3/6=0,5, & k_z=0,5. \\ z'=1\text{ м}, y'=6\text{ м}, b=6\text{ м}, & z'/b=1/6=0.17, & y'/b=6/6=1, & k'_z=0,448. \end{array}$$

$$\sigma_z = k_z P + k'_z P' = 0,5 \cdot 0,14 + 0,448 \cdot 0,1 = 0,115\text{ МПа}.$$

##### Точка 2



$$z=2\text{м}, y=3\text{м}, b=6\text{м}, \quad z/b=2/6=0.33, \quad y/b=3/6=0.5, \quad k_z=0.495.$$

$$z'/=2\text{м}, y'/=6\text{м}, b=6\text{м}, \quad z'/b=2/6=0.33, \quad y'/b=6/6=1, \quad k'_z=0.401.$$

$$\sigma_z = k_z P + k'_z P = 0.495 \cdot 0.14 + 0.401 \cdot 0.1 = 0.11 \text{МПа}.$$

#### Точка 3

$$z=4\text{м}, y=3\text{м}, b=6\text{м}, \quad z/b=4/6=0.67, \quad y/b=3/6=0.5, \quad k_z=0.46.$$

$$z'/=4\text{м}, y'/=6\text{м}, b=6\text{м}, \quad z'/b=4/6=0.67, \quad y'/b=6/6=1, \quad k'_z=0.312.$$

$$\sigma_z = k_z P + k'_z P = 0.46 \cdot 0.14 + 0.312 \cdot 0.1 = 0.096 \text{МПа}.$$

#### Точка 4

$$z=6\text{м}, y=3\text{м}, b=6\text{м}, \quad z/b=6/6=1, \quad y/b=3/6=0.5, \quad k_z=0.41.$$

$$z'/=6\text{м}, y'/=6\text{м}, b=6\text{м}, \quad z'/b=6/6=0.67, \quad y'/b=6/6=1, \quad k'_z=0.241.$$

$$\sigma_z = k_z P + k'_z P = 0.41 \cdot 0.14 + 0.241 \cdot 0.1 = 0.082 \text{МПа}.$$

#### Точка 5

$$z=4\text{м}, y=-3\text{м}, b=6\text{м}, \quad z/b=4/6=0.67, \quad y/b=-3/6=-0.5, \quad k_z=0.46.$$

$$z'/=4\text{м}, y'/=0, b=6\text{м}, \quad z'/b=4/6=0.67, \quad y'/b=0/6=0, \quad k'_z=0.145.$$

$$\sigma_z = k_z P + k'_z P = 0.46 \cdot 0.14 + 0.145 \cdot 0.1 = 0.079 \text{МПа}.$$

#### Точка 6

$$z=4\text{м}, y=-1\text{м}, b=6\text{м}, \quad z/b=4/6=0.67, \quad y/b=-1/6=-0.17, \quad k_z=0.673.$$

$$z'/=4\text{м}, y'/=2\text{м}, b=6\text{м}, \quad z'/b=4/6=0.67, \quad y'/b=2/6=0.33, \quad k'_z=0.287.$$

$$\sigma_z = k_z P + k'_z P = 0.673 \cdot 0.14 + 0.287 \cdot 0.1 = 0.123 \text{МПа}.$$

#### Точка 7

$$z=4\text{м}, y=0, b=6\text{м}, \quad z/b=4/6=0.67, \quad y/b=0/6=0, \quad k_z=0.717.$$

$$z'/=4\text{м}, y'/=3\text{м}, b=6\text{м}, \quad z'/b=4/6=0.67, \quad y'/b=3/6=0.5, \quad k'_z=0.359.$$

$$\sigma_z = k_z P + k'_z P = 0.717 \cdot 0.14 + 0.359 \cdot 0.1 = 0.136 \text{МПа}.$$

#### Точка 8

$$z=4\text{м}, y=1\text{м}, b=6\text{м}, \quad z/b=4/6=0.67, \quad y/b=1/6=0.17, \quad k_z=0.673.$$

$$z'/=4\text{м}, y'/=4\text{м}, b=6\text{м}, \quad z'/b=4/6=0.67, \quad y'/b=4/6=0.67, \quad k'_z=0.386.$$

$$\sigma_z = k_z P + k'_z P = 0.673 \cdot 0.14 + 0.386 \cdot 0.1 = 0.133 \text{МПа}.$$

По полученным значениям строим эпюры распределения напряжений (рис. 3.3).

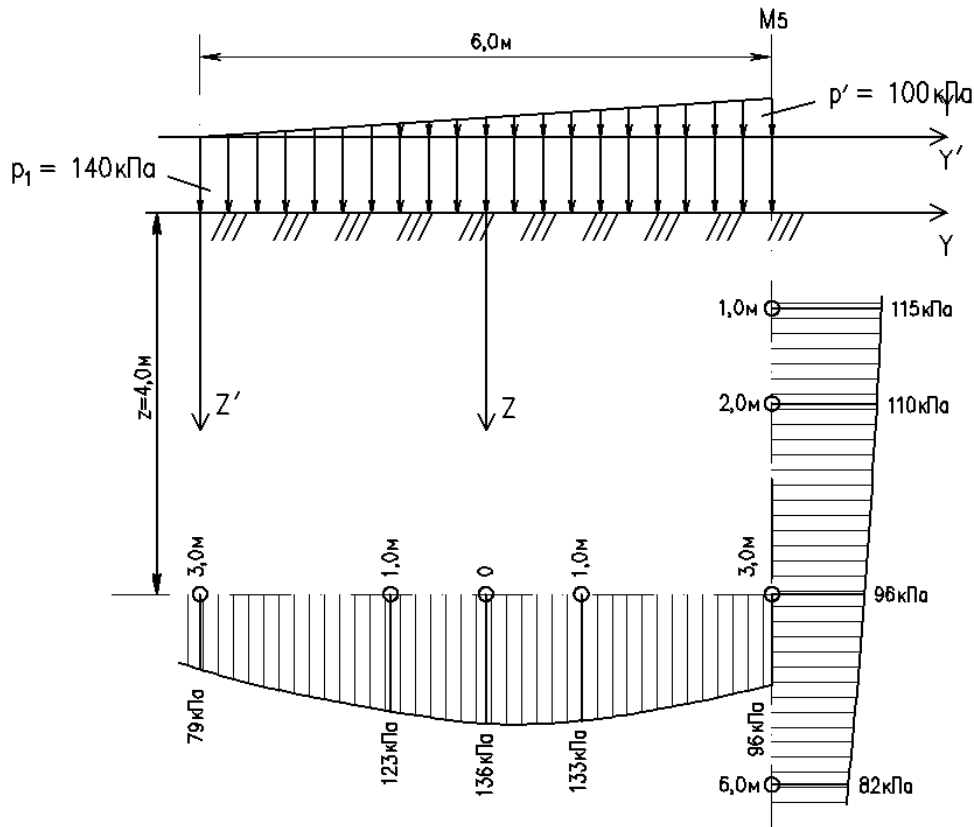


Рис.3.3. Эпюры напряжений

### 3.4. Задача №4. Определение давления грунта на подпорную стенку

#### 3.4.1. Определение давления на подпорную стенку от идеально сыпучего грунта

Общее выражение для определения давления сыпучих грунтов имеет следующий вид:

$$\sigma_y = \gamma \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (3.4.1)$$

где  $z$  - расстояние точки от поверхности засыпки.

Максимальное активное давление грунта на вертикальную гладкую стенку при  $z=H$ :

$$\sigma_{ya(H)} = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (3.4.2)$$

Эпюра распределения давления по граням стенки будет треугольной. Равнодействующая активного давления на подпорную стенку равна площади эпюры давления:

$$E_a = \sigma_{ya(H)} \cdot \frac{H}{2}. \quad (3.4.3)$$

Максимальное пассивное давление грунта на заднюю грань вертикальной стены при  $z=h'$ :

$$\sigma_{yp(h')} = \gamma \cdot h' \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right). \quad (3.4.4)$$

Равнодействующая пассивного давления:

$$E_p = \sigma_{yp(h)} \cdot \frac{h'}{2}. \quad (3.4.5)$$

### Пример расчета

Дано:

Высота стенки  $H=6$  м.

Высота заглубления стенки  $h'=1,5$  м.

Угол внутреннего трения грунта  $\varphi=16^\circ$ .

Удельный вес грунта  $\gamma=22$  кН/м<sup>3</sup>

Решение.

Активное давление грунта на подпорную стенку:

$$\sigma_{ya(H)} = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = 22 \cdot 6 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{16}{2}\right) = 75 \text{ кПа}.$$

Равнодействующая активного давления:

$$E_a = \sigma_{ya(H)} \cdot \frac{H}{2} = 75 \cdot \frac{6}{2} = 225 \text{ кН/м}.$$

Пассивное давление грунта на подпорную стенку:

$$\sigma_{yp(h')} = \gamma \cdot h' \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) = 22 \cdot 1,5 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{16}{2}\right) = 58,1 \text{ кПа}.$$

Равнодействующая пассивного давления:

$$E_p = \sigma_{yp(h)} \cdot \frac{h'}{2} = 58,1 \cdot \frac{1,5}{2} = 43,58 \text{ кН/м}.$$

По полученным данным строим расчетную схему и эпюру напряжений (рис.3.4.1).

При построении расчетной схемы и эпюр активного и пассивного давлений грунта на подпорную стенку следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб давлений 0,025 МПа в 1 см.

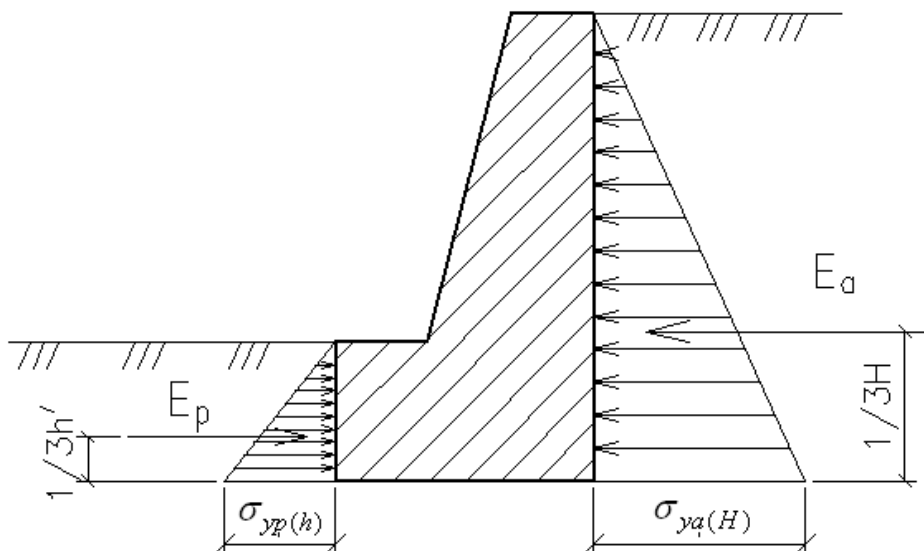


Рис.3.4.1. Расчетная схема подпорной стены

### 3.4.2. Определение давления на подпорную стенку от идеально сыпучего грунта с учетом пригруза на поверхности грунта

Действие сплошного равномерно распределенного пригруза в этом случае заменяется эквивалентной высотой слоя грунта, равной:

$$h = \frac{q}{\gamma}. \quad (3.4.6)$$

Активное давление на уровне верха подпорной стенки:

$$\sigma_{ya(h)} = \gamma \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (3.4.7)$$

Активное давление на подошве подпорной стенки:

$$\sigma_{ya(h+H)} = \gamma \cdot (h + H) \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (3.4.8)$$

Равнодействующая активного давления:

$$E_a = \frac{\sigma_{ya(h)} + \sigma_{ya(h+H)}}{2} \cdot H. \quad (3.4.9)$$

#### Пример расчета

Высота стенки  $H=6$  м.

Высота заглубления стенки  $h'=1,5$  м.

Угол внутреннего трения грунта  $\varphi=16^\circ$ .

Удельный вес грунта  $\gamma=22$  кН/м<sup>3</sup>.

Интенсивность пригрузки  $q = 50$  кПа.

Решение.

Эквивалентная высота слоя грунта:

$$h = \frac{q}{\gamma} = \frac{50}{22} = 2,27 \text{ м.}$$

Активное давление на уровне верха подпорной стенки:

$$\sigma_{ya(h)} = \gamma \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 22 \cdot 2,27 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{16}{2} \right) = 28,36 \text{ кПа.}$$

Активное давление на подошве подпорной стенки:

$$\sigma_{ya(h+H)} = \gamma \cdot (h + H) \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 22 \cdot (2,27 + 6) \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{16}{2} \right) = 103,33 \text{ кПа.}$$

Равнодействующая активного давления:

$$E_a = \frac{\sigma_{ya(h)} + \sigma_{ya(h+H)}}{2} \cdot H = \frac{28,36 + 103,33}{2} \cdot 6 = 395,07 \text{ кН/м.}$$

По полученным данным строим расчетную схему и эпюру напряжений (рис.3.4.2).

При построении расчетной схемы и эпюр активного и пассивного давлений грунта на подпорную стенку следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб давлений 0,025 МПа в 1 см.

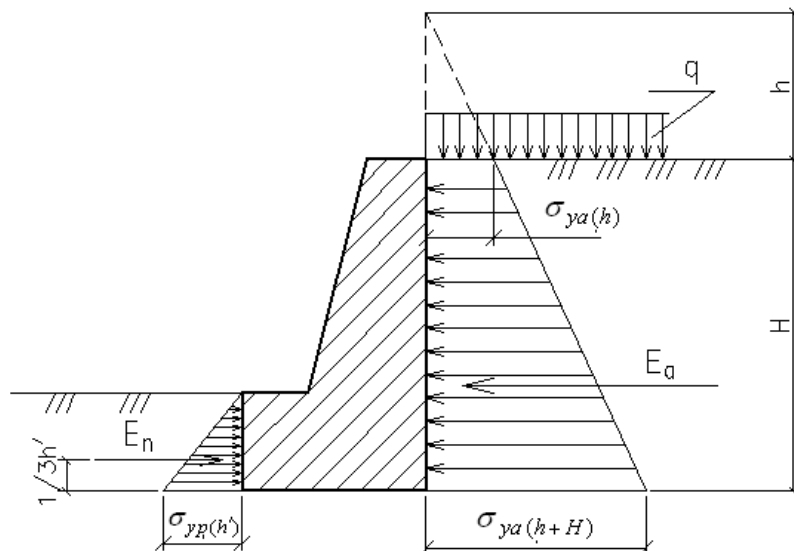


Рис.3.4.2. Расчетная схема подпорной стены с пригрузом

### 3.4.3. Определение давления на подпорную стенку от связного грунта

Действие сил сцепления заменяется всесторонним давлением связности:

$$p_e = \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (3.4.10)$$

Далее приводим давление связности по вертикали к эквивалентному слою грунта:

$$h = \frac{c}{\gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi}. \quad (3.4.11)$$

Активное давление на подошве подпорной стенки:

$$\sigma_2 = \gamma \cdot (H + h) \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - p_e. \quad (3.4.12)$$

Подставляя значения и преобразовывая, получаем:

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \gamma \cdot \left( H + \frac{c}{\gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi} \right) \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} = \\ &= \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right). \end{aligned} \quad (3.4.13)$$

На некоторой глубине суммарное давление будет равно нулю, из условия  $\sigma_2 = 0$  находим высоту  $h_c$ :

$$h_c = \frac{2 \cdot c}{\gamma \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}. \quad (3.4.14)$$

Равнодействующая активного давления:

$$E_a = \frac{\sigma_2 \cdot (H - h_c)}{2}. \quad (3.4.15)$$

Равнодействующая пассивного давления в связных грунта будет равна:

$$E_n = \frac{\gamma \cdot h'^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) + 2 \cdot c \cdot h' \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right). \quad (3.4.16)$$

### Пример расчета

Высота стенки  $H=6$  м.

Высота заглубления стенки  $h'=1,5$  м.

Угол внутреннего трения грунта  $\varphi=21^\circ$ .

Удельное сцепление грунта  $c=18$  кПа.

Удельный вес грунта  $\gamma=22$  кН/м<sup>3</sup>.

Решение:

Действие сил сцепления заменяем всесторонним давлением связности:

$$p_e = \frac{c}{\operatorname{tg}\varphi} = \frac{18}{0,384} = 46,88 \text{ кПа.}$$

Далее приводим вертикальное давление связности к эквивалентному слою грунта:

$$h = \frac{c}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\varphi} = \frac{18}{22 \cdot 0,384} = 2,13 \text{ м.}$$

Активное давление на подошве подпорной стенки:

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = \\ &= 22 \cdot 6 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{21}{2}\right) - 2 \cdot 18 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{21}{2}\right) = 38,0 \text{ кПа.} \end{aligned}$$

$$h_c = \frac{2 \cdot c}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} = \frac{2 \cdot 18}{22 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{21}{2}\right)} = 2,37 \text{ м.}$$

Равнодействующая активного давления:

$$E_a = \frac{\sigma_2 \cdot (H - h_c)}{2} = \frac{38 \cdot (6 - 2,37)}{2} = 68,97 \text{ кН/м.}$$

Равнодействующая пассивного давления:

$$\begin{aligned} E_n &= \frac{\gamma \cdot h'^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) + 2 \cdot c \cdot h' \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) = \\ &= \frac{22 \cdot 1,5^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{21}{2}\right) + 2 \cdot 18 \cdot 1,5 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{21}{2}\right) = 131,59 \text{ кН/м.} \end{aligned}$$

По полученным данным строим расчетную схему и эпюру напряжений (рис.3.4.3). При построении расчетной схемы и эпюр активного и пассивного давлений грунта на подпорную стенку следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб давлений 0,025 МПа в 1 см.

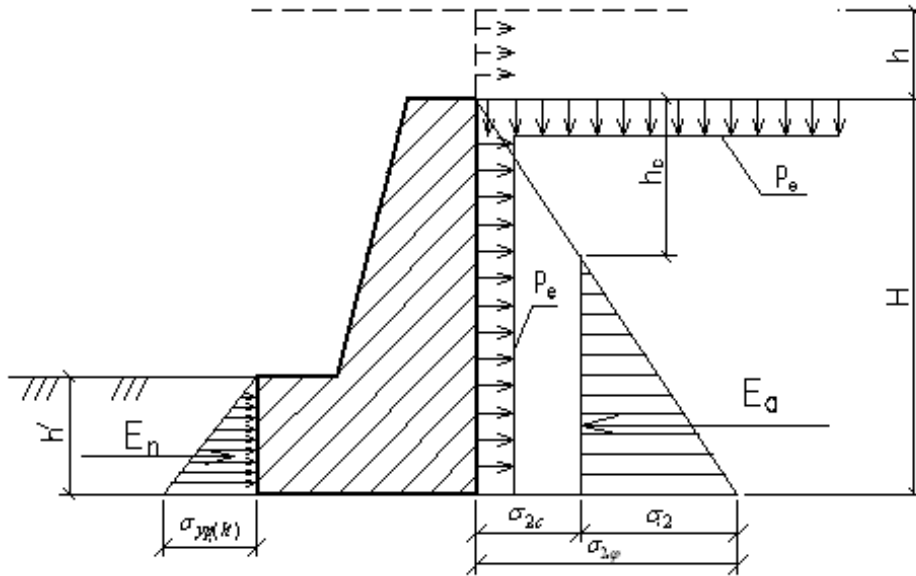


Рис.3.4.3. Расчетная схема подпорной стены

### 3.5. Задача №5. Расчет осадки методом послойного суммирования

Величину полной стабилизированной осадки грунтовой толщи  $S$  по методу послойного суммирования определяют как сумму осадок элементарных слоев грунта по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i = \beta \sum_{i=1}^n \sigma_{zp,i}^{cp} \frac{\Delta_i}{E_{0i}},$$

где  $\sigma_{zp,i}^{cp}$  - среднее напряжение в  $i$ -ом элементарном слое грунта, равное полусумме напряжений на верхней  $\sigma_{zp,i}$  и нижней  $\sigma_{zp,(i+1)}$  границах этого слоя;

$z_i$  - расстояние от подошвы полосы нагружения до элементарного слоя;

$\Delta_i$  - толщина элементарного слоя;

$E_{0i}$  - модуль общей деформации грунта элементарного слоя;

$\beta$  - безразмерный коэффициент, принимаемый для всех грунтов равным 0,8;

$n$  - число элементарных слоев грунта, на которое разделена по глубине активная зона сжатия.

Напряжения  $\sigma_{zp,i}$  вычисляются по формуле:

$$\sigma_{zp,i} = \alpha_i (P - \sigma_{zq}) = \alpha_i P_o,$$

где  $\alpha_i$  - коэффициент рассеивания напряжений, принимаемый для полособразной нагрузки ( $l/b \geq 10$ ) по таблице в зависимости от относительной глубины  $\xi = \frac{2z_i}{b}$ ;

$P_o$  - давление на подошве полосы нагружения, вызывающее осадку;

$P$  - интенсивность полособразной нагрузки;

$\sigma_{zq}$  - природное давление в грунте на уровне подошвы полосы нагружения.

Значения коэффициента  $\alpha$  приведены в табл.2.1 приложения 2 настоящих методических указаний.

Глубина активной зоны сжатия  $H_c$  соответствует такой глубине, ниже которой деформациями грунтовой толщи можно пренебречь. В общем случае её рекомендуют принимать на глубине, где напряжение  $\sigma_{zp}$  составляет 0,2 величины природного давления.

При построении расчетной схемы следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 0,05 МПа в 1 см.

Пример.

Дано:

$$b = 1,6 \text{ м}, h = 1,6 \text{ м}, P = 0,28 \text{ МПа}, h_1 = 3,5 \text{ м}, \rho_1 = 2,09 \text{ г/см}^3, \rho_{s1} = 2,66 \text{ г/см}^3,$$

$$W_1 = 14,1\%, E_{01} = 13 \text{ МПа}, h_2 = 370 \text{ см}, \rho_2 = 2,02 \text{ г/см}^3, E_{02} = 31 \text{ МПа}, h_b = 2,2 \text{ м}.$$

Решение: Вычисляем ординаты эпюр природного давления  $\sigma_{zq}$  и вспомогательной эпюры  $0,2\sigma_{zq}$ :

на уровне поверхности земли

$$\sigma_{zq} = 0 \quad 0,2\sigma_{zq} = 0$$

на уровне грунтовых вод

$$\sigma_{zq} = \gamma_1 \cdot h_{1/1} = 20,9 \cdot 1,3 = 27,2 \text{ кПа} \quad 0,2\sigma_{zq} = 5,4 \text{ кПа}$$

на уровне подошвы фундамента с учетом взвешивающего действия воды

$$\gamma_{sb1} = \frac{\gamma_{s1} - \gamma_w}{1 + e_1} = \frac{20,9 - 10}{1 + 0,45} = 7,5 \text{ кН/м}^3,$$

$$\text{где } e_1 = \frac{\rho_{s1}}{\rho_1} \cdot (1 + W) - 1 = \frac{2,66}{2,09} \cdot (1 + 0,141) - 1 = 0,45.$$

$$\sigma_{zq} (\sigma_{zqw}) = 27,2 + \gamma_{sb1} \cdot h_{1/2} = 27,2 + 7,5 \cdot 0,3 = 29,5 \text{ кПа}, \quad 0,2\sigma_{zq} = 5,9 \text{ кПа}.$$

на границе первого слоя

$$\sigma_{zq} (\sigma_{zqw}) = 29,5 + \gamma_{sb1} \cdot h_{1/3} = 29,5 + 7,5 \cdot 1,9 = 43,8 \text{ кПа}, \quad 0,2\sigma_{zq} = 8,8 \text{ кПа}.$$

Так как во втором слое залегает водонепроницаемая глина, к вертикальному напряжению на кровлю глины добавляется гидростатическое давление столба воды, находящейся над глиной:

$$\sigma_w = \gamma_w \cdot h_b = 10,0 \cdot 2,2 = 22 \text{ кПа},$$

тогда полное вертикальное напряжение, действующее на кровлю глины:

$$\sigma_{zq} = 43,8 + \sigma_w = 43,8 + 22 = 65,8 \text{ кПа}, \quad 0,2\sigma_{zq} = 13,2 \text{ кПа}.$$

на границе второго слоя

$$\sigma_{zq} = 65,8 + \gamma_2 \cdot h_2 = 65,8 + 20,2 \cdot 3,7 = 140,5 \text{ кПа}, \quad 0,2\sigma_{zq} = 28,1 \text{ кПа}.$$

Определяем давление на подошве полосы нагружения, вызывающее осадку:

$$P_0 = P - \sigma_{zq} = 280 - 29,5 = 250,5 \text{ кПа}.$$



Разбиваем толщу грунта под подошвой полосы нагрузки на элементарные слои:

$$\Delta_i = (0.2 \div 0.4) \cdot b = 0.4 \cdot 1.6 = 0.64 \text{ м.}$$

Для удобства расчета осадки все вычисления ведем в табличной форме.

Наименование грунта	$\Delta_i, \text{ м}$	$z_i, \text{ м}$	$\xi_i$	$\alpha_i$	$\sigma_{zp,i}, \text{ кПа}$	$E_i, \text{ кПа}$
песок	0,00	0,00	0,0	1,000	250,5	13000
	0,64	0,64	0,8	0,881	220,7	
	0,64	1,28	1,6	0,642	160,8	
	0,62	1,90	2,4	0,477	119,5	
глина	0,64	2,54	3,2	0,374	93,7	31000
	0,64	3,18	4,0	0,306	76,7	
	0,64	3,82	4,8	0,258	64,6	
	0,64	4,46	5,6	0,223	55,9	
	0,64	5,10	6,4	0,196	49,1	
	0,50	5,60	7,0	0,180	45,1	

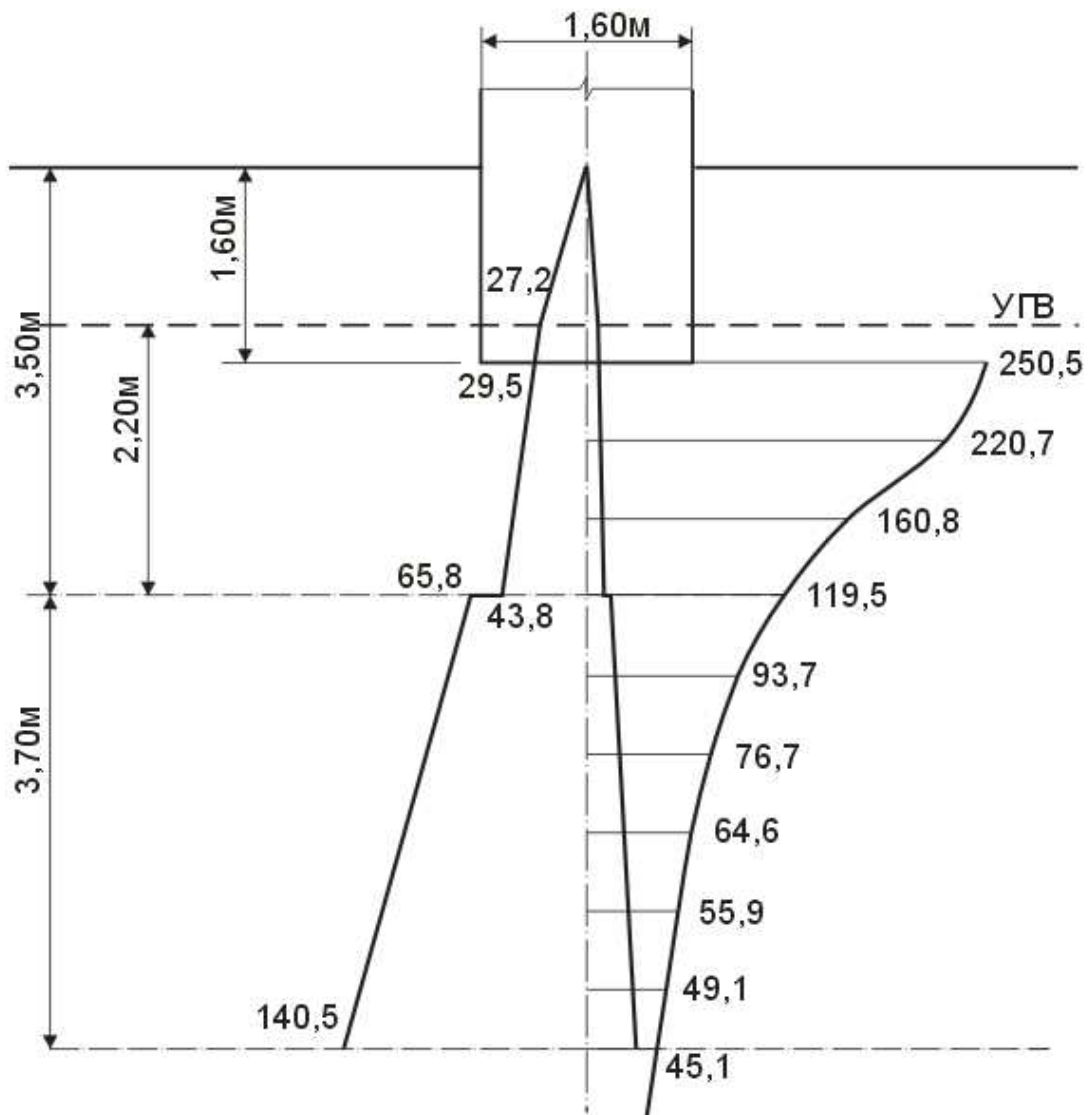


Рис.3.5. Расчетная схема к определению осадки методом послойного суммирования

В нашем случае напряжения на уровне подошвы второго слоя  $\sigma_{zp} \succ 0,2 \cdot \sigma_{zq}$ .

Определяем величину осадки в пределах двух слоев:

$$S_1 = \frac{0,8}{13000} (235,6 \cdot 0,64 + 190,75 \cdot 0,64 + 140,15 \cdot 0,62) = 0,022 \text{ м.}$$

$$S_2 = \frac{0,8}{31000} (106,6 \cdot 0,64 + 85,2 \cdot 0,64 + 70,7 \cdot 0,64 + 60,3 \cdot 0,64 + 52,5 \cdot 0,64 + 47,1 \cdot 0,5) = 0,0068 \text{ м}$$

$S_{\text{общ}} = 0,022 + 0,0068 = 0,029 \text{ м} = 2,9 \text{ см.} < S_u = 8 \text{ см.}$  Условие выполняется, следовательно, фундамент запроектирован правильно.

### 3.6. Задача №6. Расчет осадки методом эквивалентного слоя (метод Н.А. Цытовича)

Метод эквивалентного слоя, предложенный Н. А. Цытовичем, дает возможность для многослойных оснований существенно упростить технику расчета конечных осадок и их развития во времени. Этот метод приводит сложную пространственную задачу к эквивалентной, одномерной. По теоретическим предпосылкам он занимает промежуточное положение между строгими аналитическими решениями и методом послойного суммирования. Методом эквивалентного слоя, как считает Н. А. Цытович, можно пользоваться при площади подошвы фундаментов менее  $50 \text{ м}^2$ . Это ограничивает возможность использования метода для определения осадки фундаментов с учетом загрузки соседних площадей.

Основные предпосылки, положенные в основу данного метода:

- грунт рассматривается как линейно-деформируемая среда;
- учитывается ограниченное боковое расширение грунтов и жесткость фундаментов;
- учитываются вес компоненты нормальных напряжений.

Эквивалентным слоем называется такой слой грунта толщиной  $h_э$ , осадка которого при сплошной нагрузке  $P_0$  на поверхности грунта равна осадке грунтового полупространства под воздействием местной нагрузки той же интенсивности.

При слоистой толще грунтов для расчета осадки по методу эквивалентного слоя грунт приводится к квазиоднородному (на основе теоремы о среднем коэффициенте относительной сжимаемости и о среднем коэффициенте фильтрации). В этом случае величина полной стабилизированной осадки  $S$  может быть определена по формуле:

$$S = h_э m_{vm} P,$$

где  $h_э$  - толщина эквивалентного слоя грунта;

$m_{vm}$  - средний коэффициент относительной сжимаемости грунта;

$P$  - давление на грунт по подошве площадки.

Толщина эквивалентного слоя грунта  $h_э$  определяется по формуле:

$$h_3 = A_\omega b,$$

где  $A_\omega$  - коэффициент эквивалентного слоя грунта, принимаемый для абсолютно жесткого фундамента по табл. приложения настоящих методических указаний.

$b$  - наименьшая сторона площадки нагружения.

Средний коэффициент относительной сжимаемости  $m_{vm}$  определяется по формуле:

$$m_{vm} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i m_{vi} z_i}{2h_3^2},$$

где  $h_i$  - толщина отдельных слоев грунта до глубины  $H = 2h_3$ ;

$m_{vi}$  - коэффициент относительной сжимаемости  $i$ -го слоя грунта;

$z_i$  - расстояние от точки, соответствующей глубине  $H$ , до середины рассматриваемого  $i$ -го слоя грунта.

Осадка грунтовой толщи  $S_t$  для любого промежутка времени  $t$  определяется следующим выражением:

$$S_t = SU,$$

где  $S$  - полная стабилизированная осадка;

$U$  - степень консолидации (уплотнения).

Вычисление степени консолидации  $U$  можно с достаточной для практических целей точностью выполнить по формуле:

$$U = 1 - 8e^{-N} / \pi^2,$$

где  $e$  - основание натуральных логарифмов;

$N$  - коэффициент, зависящий от условий отвода вытесняемой из грунта воды:

$$N = \frac{\pi^2 c_{vm} t}{4H^2},$$

где  $c_{vm}$  - коэффициент консолидации, в данном случае равный:

$$c_{vm} = \frac{k_{\phi m}}{m_{vm} \rho_w},$$

где  $k_{\phi m}$  - средний коэффициент фильтрации:

$$k_{\phi m} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{h_i}{k_{\phi i}} \right)},$$

где  $k_{\phi i}$  - коэффициент фильтрации  $i$ -го слоя грунта;

$\rho_w$  - плотность воды.

Задаваясь той или иной степенью консолидации (например  $U = 0,1; 0,2; 0,3$  и т.д.), принимают по табл. 3.2. приложения 3 настоящих методических указаний соответствующие значения коэффициента  $N$  (для случая убывания давлений с глубиной по треугольной эпюре) и, используя зави-

симось для  $N$ , определяют время  $t$ , соответствующее данной степени фильтрационной консолидации:

$$t = \frac{4h^2 N}{\pi^2 c_{vm}}$$

При подсчете значения коэффициента консолидации  $c_{vm}$  во избежание громоздкости коэффициент фильтрации  $k_{\phi m}$  удобнее выражать в см/год ( $1 \text{ см/с} \approx 3 \cdot 10^7 \text{ см/год}$ ).

По результатам определений строится график изменения осадки грунтов во времени.

Пример.

Дано:  $a = 3,5 \text{ м}, b = 1,75 \text{ м}, P = 0,17 \text{ МПа}, h_1 = 3,2 \text{ м}, m_{v1} = 0,076 \text{ МПа}^{-1}$ ,  
 $K_{\phi 1} = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ см/с}, h_2 = 3,5 \text{ м}, m_{v1} = 0,381 \text{ МПа}^{-1}, K_{\phi 1} = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ см/с}, M_0 = 0,3$ .

Решение: Толщина эквивалентного слоя грунта:

$$h_3 = A_w \cdot b = 1,6 \cdot 1,75 = 2,8 \text{ м}.$$

Высота сжимаемой толщи  $H = 2 \cdot h_3 = 2 \cdot 2,8 = 5,6 \text{ м}$ .

$$m_{vm} = \frac{3,2 \cdot 0,076 \cdot 4 + 2,4 \cdot 0,381 \cdot 1,2}{2 \cdot 2,8^2} = 0,132 \text{ МПа}^{-1}.$$

Определяем величину полной стабилизированной осадки:

$$S = 2,8 \cdot 0,132 \cdot 0,17 = 0,063 \text{ м} = 6,3 \text{ см}.$$

### Определение затухания осадки во времени

Средний коэффициент фильтрации:

$$K_{\phi m} = \frac{5,6}{\frac{3,2}{2,4 \cdot 10^{-7}} + \frac{2,4}{1,8 \cdot 10^{-8}}} = 3,817 \cdot 10^{-8} \text{ см/с} = 3,82 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}.$$

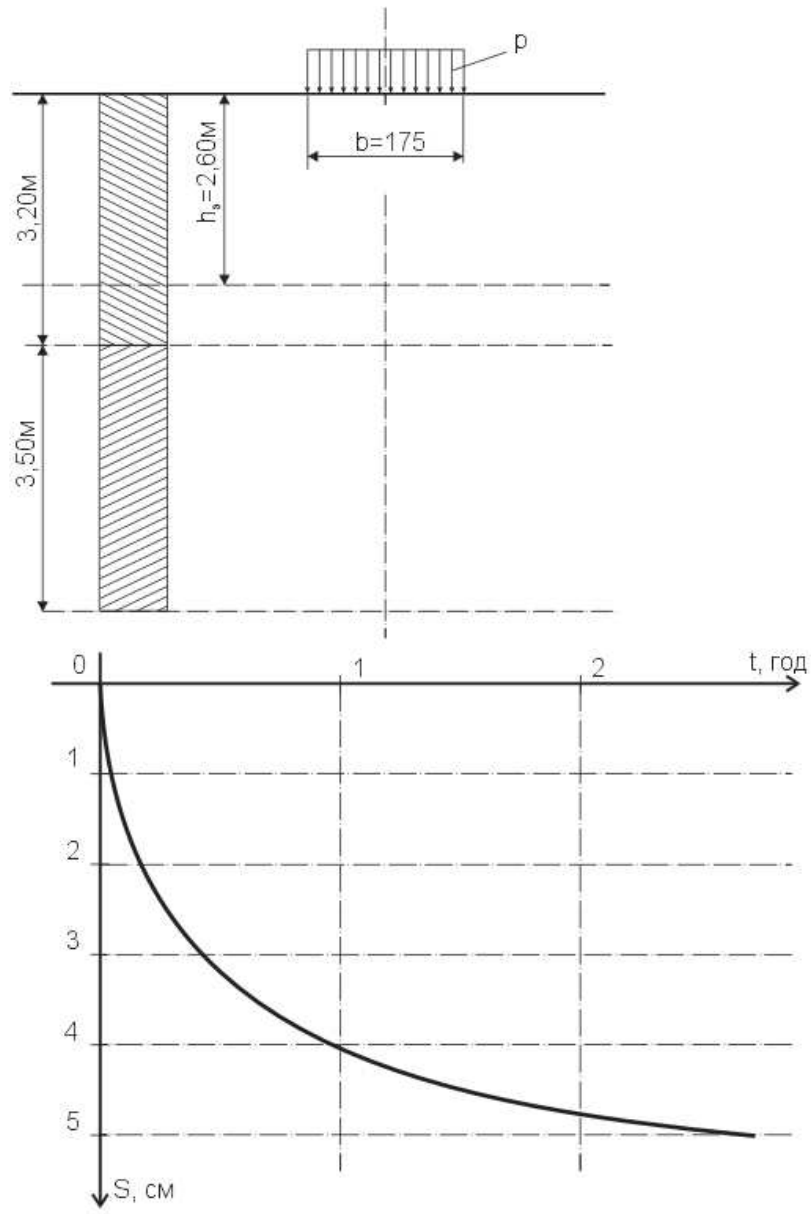
Коэффициент консолидации:

$$c_{vm} = \frac{3,82 \cdot 10^{-10}}{0,132 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^4} = 2,89 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с} = 2,89 \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 10^{11} = 8,67 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{год}.$$

Дальнейшие вычисления оформим в виде таблицы:

U	N	t, год	S <sub>t</sub> , см
0,1	0,005	0,007	0,63
0,2	0,02	0,029	1,26
0,3	0,06	0,088	1,89
0,4	0,13	0,191	2,52
0,5	0,24	0,352	3,15
0,6	0,42	0,616	3,78
0,7	0,69	1,013	4,41
0,8	1,08	1,585	5,04
0,9	1,77	2,597	5,67
0,95	2,54	3,727	5,99

По полученным значениям строим график затухания осадки во времени (рис.3.6).



## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Веселов В.А. Проектирование оснований и фундаментов: (основы теории и примеры расчета): Учеб. пособ. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1990. – 304 с.: ил.
- 2 Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Стройиздат, 1981. 315 с.
- 3 Котов М.Ф. Механика грунтов в примерах. М.: Высшая школа, 1968. 271 с.
- 4 Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии).-2-ое изд. перераб и доп.-Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988.–415 с.
- 5 Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). М.: Высшая школа, 1983. 288 с.
- 6 СНиП 2.02.01 – 83. Основания зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.
- 7 Бартоломей А.А. Механика грунтов: Учебник.-М.:АСВ.2003.304с.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

**Приложение 1**

Значения коэффициента  $k$  для вычисления сжимающих напряжений от действия сосредоточенной силы в зависимости от отношения  $r/z$

*Таблица 1.1*

$r/z$	$k$	$r/z$	$k$	$r/z$	$k$	$r/z$	$k$
0,00	0,4775	0,50	0,2733	1,00	0,0844	1,50	0,0251
0,01	0,4773	0,51	0,2679	1,01	0,0823	1,51	0,0245
0,02	0,4770	0,52	0,2625	1,02	0,0803	1,52	0,0240
0,03	0,4764	0,53	0,2571	1,03	0,0783	1,53	0,0234
0,04	0,4756	0,54	0,2518	1,04	0,0764	1,54	0,0229
0,05	0,4745	0,55	0,2466	1,05	0,0744	1,55	0,0224
0,06	0,4732	0,56	0,2414	1,06	0,0727	1,56	0,0219
0,07	0,4717	0,57	0,2363	1,07	0,0709	1,57	0,0214
0,08	0,4699	0,58	0,2313	1,08	0,0691	1,58	0,0209
0,09	0,4679	0,59	0,2263	1,09	0,0674	1,59	0,0204
0,10	0,4657	0,60	0,2214	1,10	0,0658	1,60	0,0200
0,11	0,4633	0,61	0,2165	1,11	0,0641	1,61	0,0195
0,12	0,4607	0,62	0,2117	1,12	0,0626	1,62	0,0191
0,13	0,4579	0,63	0,2070	1,13	0,0610	1,63	0,0187
0,14	0,4548	0,64	0,2024	1,14	0,0595	1,64	0,0183
0,15	0,4516	0,65	0,1978	1,15	0,0581	1,65	0,0179
0,16	0,4482	0,66	0,1934	1,16	0,0567	1,66	0,0175
0,17	0,4446	0,67	0,1889	1,17	0,0553	1,67	0,0171
0,18	0,4409	0,68	0,1846	1,18	0,0539	1,68	0,0167
0,19	0,4370	0,69	0,1804	1,19	0,0526	1,69	0,0163
0,20	0,4329	0,70	0,1762	1,20	0,0513	1,70	0,0160
0,21	0,4286	0,71	0,1721	1,21	0,0501	1,72	0,0153
0,22	0,4242	0,72	0,1681	1,22	0,0489	1,74	0,0147
0,23	0,4197	0,73	0,1641	1,23	0,0477	1,76	0,0141
0,24	0,4151	0,74	0,1603	1,24	0,0466	1,78	0,0135
0,25	0,4103	0,75	0,1565	1,25	0,0454	1,80	0,0129
0,26	0,4054	0,76	0,1527	1,26	0,0443	1,82	0,0124
0,27	0,4004	0,77	0,1491	1,27	0,0433	1,84	0,0119
0,28	0,3954	0,78	0,1455	1,28	0,0422	1,86	0,0114
0,29	0,3902	0,79	0,1420	1,29	0,0412	1,88	0,0109
0,30	0,3849	0,80	0,1386	1,30	0,0402	1,90	0,0105
0,31	0,3796	0,81	0,1353	1,31	0,0393	1,92	0,0101
0,32	0,3742	0,82	0,1320	1,32	0,0384	1,94	0,0097
0,33	0,3687	0,83	0,1288	1,33	0,0374	1,96	0,0093
0,34	0,3632	0,84	0,1257	1,34	0,0365	1,98	0,0089
0,35	0,3577	0,85	0,1226	1,35	0,0357	2,00	0,0085
0,36	0,3521	0,86	0,1196	1,36	0,0348	2,10	0,0070
0,37	0,3465	0,87	0,1166	1,37	0,0340	2,20	0,0058
0,38	0,3408	0,88	0,1138	1,38	0,0332	2,30	0,0048
0,39	0,3351	0,89	0,1110	1,39	0,0324	2,40	0,0040
0,40	0,3294	0,90	0,1083	1,40	0,0317	2,50	0,0034
0,41	0,3238	0,91	0,1057	1,41	0,0309	2,60	0,0029
0,42	0,3181	0,92	0,1031	1,42	0,0302	2,70	0,0024
0,43	0,3124	0,93	0,1005	1,43	0,0295	2,80	0,0021
0,44	0,3068	0,94	0,0981	1,44	0,0288	2,90	0,0017
0,45	0,3011	0,95	0,0956	1,45	0,0282	3,00	0,0015
0,46	0,2955	0,96	0,0933	1,46	0,0275	3,50	0,0007
0,47	0,2899	0,97	0,0910	1,47	0,0269	4,00	0,0004
0,48	0,2843	0,98	0,0887	1,48	0,0263	4,50	0,0002
0,49	0,2788	0,99	0,0865	1,49	0,0257	5,00	0,0001

Таблица 1.2.

Значения коэффициента  $k_c$ .

$z/b$	значения $a/b$										
	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3
0,0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
0,2	0,2486	0,2489	0,2490	0,2491	0,2491	0,2491	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492
0,4	0,2401	0,2420	0,2429	0,2434	0,2437	0,2439	0,2440	0,2441	0,2442	0,2442	0,2442
0,6	0,2229	0,2275	0,2300	0,2315	0,2324	0,2329	0,2333	0,2335	0,2337	0,2338	0,2339
0,8	0,1999	0,2075	0,2120	0,2147	0,2165	0,2176	0,2183	0,2188	0,2192	0,2194	0,2196
1,0	0,1752	0,1851	0,1911	0,1955	0,1981	0,1999	0,2012	0,2020	0,2026	0,2031	0,2034
1,2	0,1516	0,1626	0,1705	0,1758	0,1793	0,1818	0,1836	0,1849	0,1858	0,1865	0,1870
1,4	0,1608	0,1423	0,1508	0,1569	0,1613	0,1644	0,1667	0,1685	0,1696	0,1705	0,1712
1,6	0,1123	0,1241	0,1329	0,1396	0,1445	0,1482	0,1509	0,1530	0,1545	0,1557	0,1567
1,8	0,0969	0,1083	0,1172	0,1241	0,1294	0,1334	0,1365	0,1389	0,1408	0,1423	0,1434
2,0	0,0840	0,0947	0,1034	0,1103	0,1158	0,1202	0,1236	0,1263	0,1284	0,1390	0,1314
2,2	0,0732	0,0832	0,0917	0,0984	0,1039	0,1084	0,1120	0,1149	0,1172	0,1191	0,1205
2,4	0,0642	0,0734	0,0813	0,0879	0,0934	0,0979	0,1016	0,1047	0,1071	0,1092	0,1108
2,6	0,0566	0,0651	0,0725	0,0788	0,0842	0,0887	0,0924	0,0955	0,0981	0,1003	0,1020
2,8	0,0502	0,0580	0,0649	0,0709	0,0761	0,0805	0,0842	0,0875	0,0900	0,0923	0,0942
3,0	0,0447	0,0519	0,0583	0,0640	0,0680	0,0732	0,0769	0,0801	0,0828	0,0851	0,0870
3,2	0,0401	0,0467	0,0526	0,0580	0,0627	0,0668	0,0704	0,0735	0,0762	0,0786	0,0806
3,4	0,0361	0,0421	0,0477	0,0527	0,0571	0,0611	0,0646	0,0677	0,0704	0,0727	0,0747
3,6	0,0326	0,0382	0,0433	0,0480	0,0523	0,0561	0,0594	0,0624	0,0651	0,0674	0,0694
3,8	0,0296	0,0348	0,0395	0,0439	0,0479	0,0516	0,0548	0,0577	0,0603	0,0626	0,0646
4,0	0,0270	0,0318	0,0362	0,0403	0,0441	0,0474	0,0507	0,0535	0,0560	0,0588	0,0603
4,2	0,0247	0,0291	0,0333	0,0371	0,0407	0,0430	0,0469	0,0496	0,05214	0,0543	0,0563
4,4	0,0227	0,0268	0,0306	0,0343	0,0376	0,0407	0,0436	0,0462	0,0485	0,0507	0,0527
4,6	0,0209	0,0247	0,0283	0,0317	0,0348	0,0378	0,0405	0,0432	0,0453	0,0474	0,0493
4,8	0,0193	0,0229	0,0262	0,0294	0,0324	0,0352	0,0378	0,0402	0,0424	0,0444	0,0463
5,0	0,0179	0,0212	0,0243	0,0274	0,0302	0,0328	0,0353	0,0376	0,0397	0,0417	0,0435
6,0	0,0127	0,0151	0,0174	0,0196	0,0218	0,0238	0,0257	0,0276	0,0293	0,0310	0,0325
7,0	0,0094	0,0112	0,0130	0,0147	0,0164	0,0180	0,0195	0,0210	0,0224	0,0238	0,0251
8,0	0,0073	0,0087	0,0101	0,0114	0,0127	0,0140	0,0153	0,0165	0,0176	0,0187	0,0198
9,0	0,0058	0,0069	0,0080	0,0091	0,0102	0,0112	0,0122	0,0132	0,0142	0,0152	0,0161
10,0	0,0047	0,0056	0,0065	0,0074	0,0083	0,0092	0,0100	0,0109	0,0117	0,0125	0,0132



Значения коэффициента  $k_c$ .

$z/b$	Значения $a/b$										
	3,2	3,4	3,6	3,8	4	5	6	7	8	9	10
0,0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
0,2	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492
0,4	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443
0,6	0,2340	0,2340	0,2341	0,2341	0,2341	0,2342	0,2342	0,2342	0,2342	0,2342	0,2342
0,8	0,2198	0,2199	0,2199	0,2200	0,2200	0,2202	0,2202	0,2202	0,2202	0,2202	0,2202
1,0	0,2037	0,2039	0,2040	0,2041	0,2042	0,2044	0,2045	0,2045	0,2046	0,2046	0,2046
1,2	0,1873	0,1876	0,1878	0,1880	0,1882	0,1885	0,1887	0,1888	0,1888	0,1888	0,1888
1,4	0,1718	0,1722	0,1725	0,1728	0,1730	0,1735	0,1738	0,1739	0,1739	0,1739	0,1740
1,6	0,1574	0,1580	0,1584	0,1587	0,1590	0,1598	0,0601	0,1602	0,1603	0,1604	0,1604
1,8	0,1443	0,1450	0,1455	0,1460	0,1463	0,1474	0,0478	0,1480	0,1481	0,1482	0,1482
2,0	0,1324	0,1332	0,1339	0,1345	0,1350	0,1363	0,1368	0,1371	0,1372	0,1373	0,1374
2,2	0,1218	0,1227	0,1235	0,1242	0,1248	0,1264	0,1271	0,1274	0,1276	0,1277	0,1277
2,4	0,1122	0,1133	0,1142	0,1150	0,1156	0,1175	0,1184	0,1188	0,1190	0,1191	0,1192
2,6	0,1035	0,1047	0,1058	0,1066	0,1073	0,1095	0,1106	0,1111	0,1113	0,1115	0,1116
2,8	0,0957	0,0970	0,0982	0,0991	0,0999	0,1024	0,1036	0,1041	0,1045	0,1047	0,1048
3,0	0,0887	0,0901	0,0913	0,0923	0,0931	0,0959	0,0973	0,0980	0,0983	0,0986	0,0987
3,2	0,0823	0,0838	0,0850	0,0861	0,0870	0,0900	0,0916	0,0923	0,0928	0,0930	0,0933
3,4	0,0765	0,0780	0,0793	0,0804	0,0814	0,0847	0,0864	0,0873	0,0877	0,0880	0,0882
3,6	0,0712	0,0728	0,0741	0,0753	0,0763	0,0799	0,0816	0,0826	0,0832	0,0835	0,0837
3,8	0,0664	0,0680	0,0694	0,0706	0,0717	0,0753	0,0773	0,0784	0,0790	0,0794	0,0796
4,0	0,0620	0,0636	0,0650	0,0663	0,0674	0,0712	0,0733	0,0745	0,0752	0,0756	0,0758
4,2	0,0581	0,0596	0,0610	0,0623	0,0634	0,0674	0,0696	0,0709	0,0716	0,0721	0,0724
4,4	0,0544	0,0560	0,0574	0,0586	0,0597	0,0639	0,0662	0,0676	0,0684	0,0689	0,0692
4,6	0,0510	0,0526	0,0540	0,0553	0,0564	0,0606	0,0630	0,0644	0,0654	0,0659	0,0663
4,8	0,0480	0,0495	0,0509	0,0522	0,0533	0,0576	0,0601	0,0616	0,0626	0,0631	0,0635
5,0	0,0451	0,0466	0,0480	0,0493	0,0504	0,0547	0,0573	0,0589	0,0599	0,0606	0,0610
6,0	0,0340	0,0353	0,0366	0,0377	0,0388	0,0431	0,0460	0,0479	0,0491	0,0500	0,0506
7,0	0,0263	0,0275	0,0286	0,0296	0,0306	0,0346	0,0376	0,0396	0,0411	0,0421	0,0428
8,0	0,0209	0,0219	0,0228	0,0237	0,0246	0,0283	0,0311	0,0332	0,0348	0,0359	0,0367
9,0	0,0169	0,0178	0,0186	0,0194	0,0202	0,0235	0,0262	0,0282	0,0298	0,0310	0,0319
10,0	0,0140	0,0147	0,0154	0,0162	0,0167	0,0198	0,0222	0,0242	0,0258	0,0270	0,0280

Таблица 1.3.

Значения коэффициента  $k_z$  для определения напряжений в случае действия равномерно распределенной нагрузки в условиях плоской задачи

$z/b$	Значения $y/b$					
	0,00	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00
0,00	1,00	1,00	0,50	0,00	0,00	0,00
0,25	0,96	0,90	0,50	0,02	0,00	0,00
0,50	0,82	0,74	0,48	0,08	0,02	0,00
0,75	0,67	0,61	0,45	0,15	0,04	0,02
1,00	0,55	0,51	0,41	0,19	0,07	0,03
1,25	0,46	0,44	0,37	0,20	0,10	0,04
1,50	0,40	0,38	0,33	0,21	0,13	0,07
1,75	0,35	0,34	0,30	0,20	0,14	0,08
2,00	0,31	0,31	0,28	0,17	0,13	0,10
3,00	0,21	0,21	0,20	0,14	0,12	0,10
4,00	0,16	0,16	0,15	0,12	0,11	0,09
5,00	0,13	0,13	0,12	0,10	0,10	-
6,00	0,11	0,10	0,10	-	-	-

Таблица 1.4.

Значения коэффициента  $k'_z$  для определения величины сжимающих напряжений при треугольной нагрузке

$z/b$	Значения $y/b$										
	-1,50	-1,00	-0,50	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,500	0,750	0,500	0,000	0,000	0,000
0,25	0,000	0,000	0,001	0,075	0,256	0,480	0,643	0,424	0,015	0,003	0,000
0,50	0,002	0,003	0,023	0,127	0,263	0,410	0,477	0,353	0,056	0,017	0,003
0,75	0,006	0,016	0,042	0,153	0,248	0,335	0,361	0,293	0,108	0,024	0,009
1,00	0,014	0,025	0,061	0,159	0,223	0,275	0,279	0,241	0,129	0,045	0,013
1,50	0,020	0,048	0,096	0,145	0,178	0,200	0,202	0,185	0,124	0,062	0,041
2,00	0,033	0,061	0,092	0,127	0,146	0,155	0,163	0,153	0,108	0,069	0,050
3,00	0,050	0,064	0,080	0,096	0,103	0,104	0,108	0,104	0,090	0,071	0,050
4,00	0,051	0,060	0,067	0,075	0,078	0,085	0,082	0,075	0,073	0,060	0,049
5,00	0,047	0,052	0,057	0,059	0,062	0,063	0,063	0,065	0,061	0,051	0,047
6,00	0,041	0,041	0,050	0,051	0,052	0,053	0,053	0,053	0,050	0,050	0,045

## Приложение 2

Коэффициент при определении осадки

Таблица 2.1

$\xi=2z/b$	Коэффициент $\alpha$ для фундаментов							
	круглых	прямоугольных с соотношением сторон равным $\eta=l/b$						ленточных ( $\eta>10$ )
		1,0	1,4	1,8	2,4	3,2	5,0	
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,4	0,949	0,960	0,972	0,975	0,976	0,977	0,977	0,977
0,8	0,756	0,800	0,848	0,866	0,876	0,879	0,881	0,881
1,2	0,547	0,606	0,682	0,717	0,739	0,749	0,754	0,755
1,6	0,390	0,449	0,532	0,578	0,612	0,629	0,639	0,642
2,0	0,285	0,336	0,414	0,463	0,505	0,530	0,545	0,550
2,4	0,214	0,257	0,325	0,374	0,419	0,449	0,470	0,477
2,8	0,165	0,201	0,260	0,304	0,349	0,383	0,410	0,420
3,2	0,130	0,160	0,210	0,251	0,294	0,329	0,360	0,374
3,6	0,106	0,131	0,173	0,209	0,250	0,285	0,319	0,337
4,0	0,087	0,108	0,145	0,176	0,214	0,248	0,285	0,306
4,4	0,073	0,091	0,128	0,150	0,185	0,218	0,255	0,280
4,8	0,062	0,077	0,105	0,130	0,161	0,192	0,230	0,258
5,2	0,053	0,067	0,091	0,113	0,141	0,170	0,208	0,239
5,6	0,046	0,058	0,079	0,099	0,124	0,152	0,189	0,223
6,0	0,040	0,051	0,070	0,087	0,110	0,136	0,173	0,208
6,4	0,036	0,045	0,062	0,077	0,099	0,122	0,158	0,196
6,8	0,031	0,040	0,055	0,064	0,088	0,110	0,145	0,185
7,2	0,028	0,036	0,049	0,062	0,080	0,100	0,133	0,175
7,6	0,024	0,032	0,044	0,056	0,072	0,091	0,123	0,166
8,0	0,022	0,029	0,040	0,051	0,066	0,084	0,113	0,158
8,4	0,021	0,026	0,037	0,046	0,060	0,077	0,105	0,150
8,8	0,019	0,024	0,033	0,042	0,055	0,071	0,098	0,143
9,2	0,017	0,022	0,031	0,039	0,051	0,065	0,091	0,137
9,6	0,016	0,020	0,028	0,036	0,047	0,060	0,085	0,132
10,0	0,015	0,019	0,026	0,033	0,043	0,056	0,079	0,126
10,4	0,014	0,017	0,024	0,031	0,040	0,052	0,074	0,122
10,8	0,013	0,016	0,022	0,029	0,037	0,049	0,069	0,117
11,2	0,012	0,015	0,021	0,027	0,035	0,045	0,065	0,113
11,6	0,011	0,014	0,020	0,025	0,033	0,042	0,061	0,109
12,0	0,010	0,013	0,018	0,023	0,031	0,040	0,058	0,106

**Примечания:** 1. Здесь  $l$  – длина фундамента,  $b$  – ширина фундамента. 2. Для фундаментов с подошвой в форме правильного многоугольника с площадью  $A$  значения  $\alpha$  принимаются как для круглых фундаментов радиусом  $r = \sqrt{A/\pi}$ . 3. Для промежуточных значений  $\xi$  и  $\eta$  коэффициент  $\alpha$  определяется по интерполяции.

Значение коэффициента эквивалентного слоя  $A\omega$ .

Таблица 3.1.

$\alpha=a/b$	Гравий и галька			Пески						Суглинки пластичные						Глины и суглинки мягкопластичные		
	глины и суглинки твердые и полутвердые						супеси твердые и пластичные						глины пластичные					
	$\mu_0=0,10$			$\mu_0=0,20$			$\mu_0=0,25$			$\mu_0=0,30$			$\mu_0=0,35$			$\mu_0=0,40$		
1,0	1,13	0,96	0,89	1,20	1,01	0,94	1,26	1,07	0,99	1,37	1,17	1,08	1,58	1,34	1,24	2,02	1,71	1,58
1,5	1,37	1,16	1,09	1,45	1,23	1,15	1,53	1,30	1,21	1,66	1,40	1,32	1,91	1,62	1,52	2,44	2,07	1,94
2,0	1,55	1,31	1,23	1,63	1,39	1,30	1,72	1,47	1,37	1,88	1,60	1,49	2,16	1,83	1,72	2,76	2,34	2,20
3,0	1,81	1,55	1,46	1,90	1,63	1,54	2,01	1,73	1,62	2,18	1,89	1,76	2,51	2,15	2,01	3,21	2,75	2,59
4,0	1,99	1,72	1,63	2,09	1,81	1,72	2,21	1,92	1,81	2,41	2,09	1,97	2,77	2,39	2,26	3,53	3,06	2,90
5,0	2,13	1,85	1,74	2,24	1,95	1,84	2,37	2,07	1,94	2,58	2,25	2,11	2,96	2,57	2,42	3,79	3,29	3,10
6,0	2,25	1,98	-	2,37	2,09	-	2,50	2,21	-	2,72	2,41	-	3,14	2,76	-	4,00	3,53	-
7,0	2,35	2,06	-	2,47	2,18	-	2,61	2,31	-	2,84	2,51	-	3,26	2,87	-	4,18	3,67	-
8,0	2,43	2,14	-	2,56	2,26	-	2,70	2,40	-	2,94	2,61	-	3,38	2,98	-	4,32	3,82	-
9,0	2,51	2,21	-	2,64	2,34	-	2,79	2,47	-	3,03	2,69	-	3,49	3,08	-	4,46	3,92	-
10 и более	2,58	2,27	2,15	2,71	2,40	2,26	2,86	2,54	2,38	3,12	2,77	2,60	3,58	3,17	2,98	4,58	4,05	3,82
Кэф-фи-циент	$A\omega_0$	$A\omega_m$	$A\omega_{con\ st}$	$A\omega_0$	$A\omega_m$	$A\omega_{con\ st}$	$A\omega_0$	$A\omega_m$	$A\omega_{con\ st}$	$A\omega_0$	$A\omega_m$	$A\omega_{con\ st}$	$A\omega_0$	$A\omega_m$	$A\omega_{con\ st}$	$A\omega_0$	$A\omega_m$	$A\omega_{con\ st}$

Значения N для вычисления осадок грунта как функции времени.

Таблица 3.2.

$U=S/S$	Величины N для случаев			$U=S/S$	Величины N для случаев		
	1	2	3		1	2	3
0,05	0,005	0,06	0,002	0,55	0,59	0,84	0,32
0,10	0,02	0,12	0,005	0,60	0,71	0,95	0,42
0,15	0,04	0,18	0,01	0,65	0,84	1,10	0,54
0,20	0,08	0,25	0,02	0,70	1,00	1,24	0,69
0,25	0,12	0,31	0,04	0,75	1,18	1,42	0,88
0,30	0,17	0,39	0,06	0,80	1,40	1,64	1,08
0,35	0,24	0,47	0,09	0,85	1,69	1,93	1,36
0,40	0,31	0,55	0,13	0,90	2,09	2,35	1,77
0,45	0,39	0,63	0,18	0,95	2,80	3,17	2,54
0,50	0,49	0,73	0,24	1,00	$\infty$	$\infty$	$\infty$

**Глубина заложения фундаментов по условиям морозного пучения грунтов**

Таблица 4.1

Грунты под подошвой фундамента	Глубина заложения фундаментов в зависимости от глубины расположения уровня подземных вод $d_w$ , м, при	
	$d_w < d_f + 2$	$d_w > d_f + 2$
Скальные, крупнообломочные с песчаным заполнителем, пески гравелистые, крупные и средней крупности	Не зависит от $d_f$	Не зависит от $d_f$
Пески мелкие и пылеватые	Не менее $d_f$	То же
Супеси с показателем текучести $J_L < 0$	То же	- // -
То же, при $J_L > 0$	- // -	Не менее $d_f$
Суглинки, глины, а также крупнообломочные грунты с пылевато-глинистым заполнителем при показателе текучести грунта или заполнителя $J_L \geq 0,25$	- // -	То же
То же, при $J_L < 0,25$	- // -	Не менее $0,5d_f$
<p><b>Примечание:</b> В случаях, когда глубина заложения фундаментов не зависит от расчетной глубины промерзания <math>d_f</math>, соответствующие грунты, указанные в настоящей таблице, должны залегать до глубины не менее нормативной глубины промерзания <math>d_{fn}</math>.</p>		

**Классификация пылевато-глинистых грунтов по показателю текучести,  $J_L$**

Таблица 5.1

Пылевато-глинистый грунт	Показатель текучести, $J_L$	Пылевато-глинистый грунт	Показатель текучести, $J_L$
<b>Супеси</b>		<b>Суглинки и глины</b>	
Твердые	$J_L \leq 0$	Твердые	$J_L \leq 0$
Пластичные	$0 < J_L \leq 1,0$	Полутвердые	$0 < J_L \leq 0,25$
Текучие	$J_L > 1,0$	Тугопластичные	$0,25 < J_L \leq 0,5$
		Мягкопластичные	$0,5 < J_L \leq 0,75$
		Текучепластичные	$0,75 < J_L \leq 1,0$
		Текучие	$J_L > 1,0$

**Расчетные сопротивления  $R_0$  пылевато-глинистых (непросадочных) грунтов**

Таблица 5.2

Пылевато-глинистые грунты	Коэффициент пористости, $e$	Значение $R_0$ , кПа, при показателе текучести грунта	
		$J_L = 0$	$J_L = 1$
Супеси	0,5	300	300
	0,7	250	200
Суглинки	0,5	300	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

**Примечание:** Для промежуточных значений  $J_L$  и  $e$  значение расчетного сопротивления грунта  $R_0$  определяется по интерполяции.

**Нормативные значения модуля деформации  $E$  (МПа) пылевато-глинистых грунтов**

Таблица 5.3

Наименование грунтов и пределы нормативных значений их показателя текучести		Модуль деформации грунтов $E$ (МПа) при коэффициенте пористости $e$ , равном							
		0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супеси	$0 \leq I_L \leq 0,75$	-	32	24	16	10	7	-	-
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	-	34	27	22	17	14	11	-
Суглинки	$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	32	25	19	14	11	8	-
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	-	17	12	8	6	5
Глины	$0 \leq I_L \leq 0,25$	-	-	28	24	21	18	15	12
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	-	-	21	18	15	12	9
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	-	-	15	12	9	7

**Примечание:** Для грунтов с промежуточными значениями коэффициента пористости  $e$  и показателя текучести  $I_L$  значения  $E$  определяются по интерполяции.

## Предельные деформации основания

Сооружения	Предельные деформации основания		
	относительная разность осадок $(\Delta s/L)_u$	крен $i_u$	средняя $\bar{s}_u$ (в скобках максимальная $s_{max,u}$ ) осадка, см
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<b>1. Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные здания с полным каркасом:</b>			
железобетонным	0,002	–	(8)
стальным	0,004	–	(12)
<b>2. Здания и сооружения, в конструкциях которых не возникают усилия от неравномерных осадок</b>	0,006	–	(15)
<b>3. Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из:</b>			
крупных панелей	0,0016	0,005	10
крупных блоков или кирпичной кладки без армирования	0,0020	0,005	10
то же, с армированием, в том числе с устройством железобетонных поясов	0,0024	0,005	15
<b>4. Сооружения элеваторов из железобетонных конструкций:</b>			
рабочее здание и силосный корпус монолитной конструкции на одной фундаментной плите	–	0,003	40
то же, сборной конструкции	–	0,003	30
отдельно стоящий силосный корпус монолитной конструкции	–	0,004	40
то же, сборной конструкции	–	0,004	30
отдельно стоящее рабочее здание	–	0,004	25
<b>5. Дымовые трубы высотой <math>H</math>, м: <math>H \leq 100</math></b>	–	0,005	40
$100 < H \leq 200$	–	$1/(2H)$	30
$200 < H \leq 300$	–	$1/(2H)$	20
$H > 300$	–	$1/(2H)$	10
<b>6. Жесткие сооружения высотой до 100 м, кроме указанных в поз. 4 и 5</b>	–	0,004	20
<b>7. Антенные сооружения связи:</b>			
стволы мачт заземленные	–	0,002	20
то же, электрически изолированные	–	0,001	10
башни радио	0,002	–	–
башни коротковолновых радиостанций	0,0025	–	–
башни (отдельные блоки)	0,001	–	–

1	2	3	4
<b>8. Опоры воздушных линий электропередачи:</b> промежуточные прямые анкерные и анкерно-угловые, промежуточные угловые, концевые, порталы открытых распределительных устройств специальные переходные	0,003	0,003	–
	0,0025	0,0025	–
	0,002	0,002	–
<p><b>Примечания:</b> 1. Предельные значения относительного прогиба (выгиба) зданий, указанных в поз. 3 настоящего приложения, принимаются равными <math>0,5(\Delta s/L)_u</math>.</p> <p>2. При определении относительной разности осадок (<math>\Delta s/L</math>) в поз. 8 настоящего приложения за <math>L</math> принимается расстояние между осями блоков фундаментов в направлении горизонтальных нагрузок, а в опорах с оттяжками – расстояние между осями сжатого фундамента и анкера.</p> <p>3. Если основание сложено горизонтальными (с уклоном не более 0,1), выдержанными по толщине слоями грунтов, предельные значения максимальных и средних осадок допускается увеличивать на 20%.</p> <p>4. Предельные значения подъема основания, сложенного набухающими грунтами, допускается принимать: максимальный и средний подъем в размере 25% и относительную неравномерность осадок (относительный выгиб) здания в размере 50% соответствующих предельных значений деформаций, приведенных в настоящем приложении.</p> <p>5. Для сооружений, перечисленных в поз. 1-3 настоящего приложения, с фундаментами в виде сплошных плит предельные значения средних осадок допускается увеличивать в 1,5 раза.</p> <p>6. На основе обобщения опыта проектирования, строительства и эксплуатации отдельных видов сооружений допускается принимать предельные значения деформаций основания, отличающиеся от указанных в настоящем приложении.</p>			

Илизар Талгатович МИРСАЯПОВ

Даниль Ринафович САФИН

Ленар Фиргатович СИРАЗИЕВ

Механика грунтов  
Практические занятия.  
Для студентов заочной формы обучения всех  
специальностей строительных вузов

Редактор: Рябенкова Г.А.

Редакционно-издательский отдел

Казанского государственного архитектурно-строительного университета

---

Подписано в печать

Заказ №

Бумага тип №1

Тираж 200 экз.

Формат 60×84/16

Усл.-печ.л. 5.5

Учетн.-изд.л. 5.75

---

Печатно-множительный отдел КГАСУ

420043, Казань, Зеленая, 1