

Общие указания

Курсовая работа выполняется в процессе изучения дисциплины «Механика грунтов». При её выполнении необходимо решить 5 заданий, относящихся к различным разделам дисциплины.

Работа состоит из пояснительной записки, в которой следует привести исходные данные по каждой задаче и рисунки, на которых в масштабе изображаются эпюры напряжений и расчетные схемы; решение задачи с исходными данными и обозначениями в них.

Задание 1

К поверхности массива грунта приложена сосредоточенная сила P .

Определить значения вертикальных нормальных напряжений σ_z , возникающих в точках массива грунта по горизонтальной оси, расположенной на глубине z и пересекающей линию действия сосредоточенной силы P , а также по вертикальной оси, удаленной на расстояние r от этой силы. Построить эпюры этих напряжений.

Варианты заданий (табл.1)

Таблица 1

номер варианта	z , м	r , м	P , кН	номер варианта	z , м	r , м	P , кН
0	2,0	1,0	200	5	4,0	3,5	700
1	3,0	2,5	350	6	3,5	4,0	650
2	2,5	2,0	300	7	3,0	2,5	450
3	5,0	1,5	400	8	2,0	1,5	200
4	4,5	3,0	600	9	1,5	2,0	100

Методика решения

Вертикальные нормальные напряжения, действующие по горизонтальным площадкам, возникающие в массиве грунта от сосредоточенной силы P , вычисляются по формуле Буссинеска

$$\sigma = KP / z^2; K = 3 / \{2\pi[1 + (r/z)^2]\}^{5/2}. \quad (1)$$

Значения безразмерного коэффициента K , зависящего от r/z , находят линейным интерполированием по табл. 1.

Для построения эпюры напряжений σ_z по горизонтальной оси определяют их значение для точек, находящихся на глубине z , задаваясь различными значениями r .

Таблица 2

Зависимость коэффициента K от отношения r/z

r/z	K	r/z	K	r/z	K	r/z	K
0	0,4475	0,50	0,2733	1,00	0,0844	1,50	0,0251
0,05	0,4745	0,55	0,2466	1,05	0,0744	1,60	0,0200
0,10	0,4657	0,60	0,2214	1,10	0,0658	1,70	0,0160
0,15	0,4516	0,65	0,1978	1,15	0,0581	1,80	0,0129
0,20	0,4329	0,70	0,1762	1,20	0,0513	1,90	0,01050
0,25	0,4103	0,75	0,1565	1,25	0,0454	2,00	0,0086
0,30	0,3849	0,80	0,1386	1,30	0,0402	2,50	0,0034
0,35	0,3577	0,85	0,1226	1,35	0,0357	3,00	0,0015
0,40	0,3294	0,90	0,1083	1,40	0,0317	4,00	0,0004
0,45	0,3011	0,95	0,0956	1,45	0,0282	5,00	0,0001

Для построения эпюры напряжений σ_z по вертикальной оси определяют их значения для точек, находящихся на расстоянии r от сосредоточенной силы при разных z .

Пример решения

Исходные данные: $z = 2,5\text{м}$; $r = 3\text{м}$; $P = 250\text{ кН}$.

Определяем напряжения, возникающие в точках грунтового массива по горизонтальной оси при $z = 2,5\text{м}$. Задаёмся различными значениями $r, \text{м}$ (0; 1; 2; 3; 4; 5), находим по табл. 1.1 коэффициент K (табл. 1.2).

Таблица 3

$r, \text{м}$	0	1	2	3	4	5
r/z	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2
K	0,4775	0,3294	0,1386	0,0513	0,0200	0,0085
$\sigma_z, \text{кПа}$	19,10	13,18	5,54	2,05	0,80	0,34

По результатам расчета σ_z строим эпюру (рис. 1).

Аналогично определяем напряжения, возникающие в точках грунтового массива по вертикальной оси, удалённой на расстояние $r = 3\text{ м}$ от силы P . Результаты расчета сводим в табл. 3 и строим эпюру напряжений (рис. 2).

Таблица 4

$z, \text{м}$	0	1	2	3	4	5
r/z		3	1,5	1	0,75	0,60
K	0	0,0015	0,0251	0,0844	0,1565	0,2214
$\sigma_z, \text{кПа}$	0	0,38	1,59	2,34	2,45	2,21

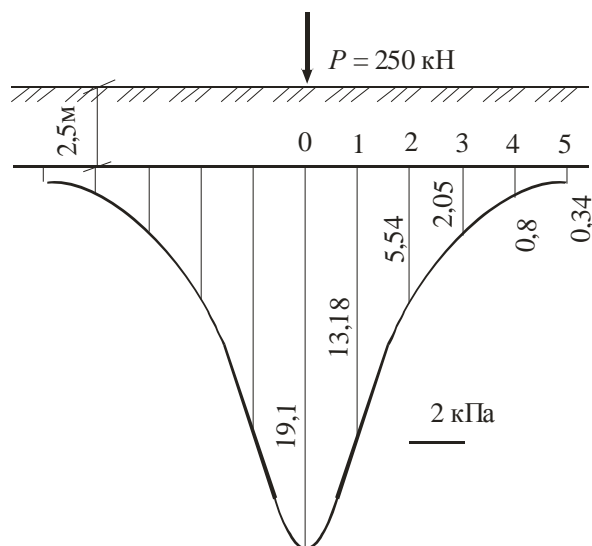


Рис.1. Эпюра напряжений σ_z по горизонтальной оси.

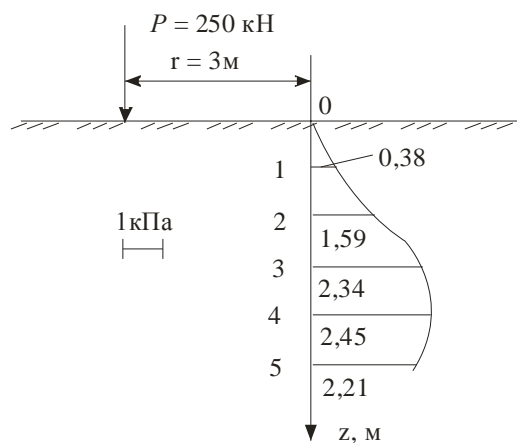


Рис.2. Эпюра напряжений σ_z по вертикальной оси

Задание 2

Рассчитать методом послойного суммирования осадку прямоугольного фундамента под колонну промышленного здания.

Варианты

Основание двухслойное: слой 1 – песок мелкий, слой 2 – суглинок тугопластичный.

Исходными данными являются (табл.5): глубина заложения h , длина l и ширина b фундамента; вертикальная нагрузка на уровне подошвы фундамента P ; удельный вес первого слоя γ_1 ; плотности частиц грунта первого и

второго слоёв ρ_{s1} и ρ_{s2} ; коэффициенты пористости e_1 и e_2 ; модули общей деформации E_1 и E_2 ; мощность первого слоя грунта H_1 и расстояние от поверхности до уровня подземных вод h_w .

Таблица 5

№ варианта	Размеры фундамента, м			P , кН	H_1 , м	h_w , м	Характеристики грунтов						
	l	b	h				1 слой			2 слой			
							$\gamma_1 \frac{kH}{M^3}$	$\rho_{s1}, \frac{T}{M^3}$	e_1	E_1 , МПа	$\rho_{s2}, \frac{T}{M^3}$	e_2	E_2 , МПа
0	4,0	2,5	1,8	3000	2,5	2,5	19,5	2,71	0,63	20,5	2,74	0,72	16,5
1	3,0	2,8	2,0	2000	2,2	3,0	18,3	2,75	0,65	21,5	2,63	0,68	18,5
2	3,5	2,8	2,2	4000	2,8	2,0	22,0	2,68	0,61	24,0	2,58	0,65	17,5
3	5,0	4,0	2,5	6000	2,6	2,3	21,2	2,70	0,58	25,0	2,60	0,71	18,5
4	4,0	3,0	2,3	5500	2,0	2,0	20,2	2,65	0,60	28,0	2,71	0,75	16,5
5	5,5	4,0	2,4	8000	3,0	2,5	20,0	2,70	0,65	23,5	2,68	0,71	18,0
6	5,2	3,5	1,9	7500	4,0	3,0	19,5	2,58	0,62	25,0	2,73	0,69	20,0
7	3,0	2,0	1,8	4500	3,5	2,0	18,7	2,55	0,65	20,5	2,58	0,65	15,5
8	4,5	3,0	2,2	5000	2,0	2,8	19,5	2,51	0,57	23,0	2,65	0,70	16,5
9	6,0	5,0	2,0	10000	2,2	3,0	18,8	2,50	0,60	22,0	2,60	0,60	17,5

Методика решения

Определяют напряжение по подошве фундамента, влияющее на его осадку:

$$p_{oc} = P/A - \gamma_1 h, \quad (2)$$

где $A = lb$ – площадь подошвы фундамента.

При $b > 10$ м принимают $p_{oc} = p = P/A$. Вычисляют напряжения σ_z от полезной нагрузки в основании по оси, проходящей через центр подошвы фундамента (точку 0), по формуле

$$\sigma_z = \alpha_o \cdot p_{oc} \quad (3)$$

и строят эпюру этих напряжений.

Коэффициент α_o определяют в зависимости от $\eta = l/b$ и $\zeta = 2z/b$ по табл. 6, в которой z – расстояние рассматриваемой точки от подошвы фундамента по глубине.

Вычисляют напряжения $\sigma_{зп}$ от собственного веса грунта в точках на уровне подземных вод (УВП) на уровне подошвы фундамента, на границе первого и второго слоев и на глубине, где $\zeta = 6...8$, пользуясь формулой:

$$\sigma_{зп} = \sum_{j=1}^n \gamma_j h_j,$$

и строят эпюру σ_{zp} .

Здесь: γ_i и h_i – удельный вес и толщина каждого слоя грунта ниже УВП.

Таблица 6

$\xi = 2z/l$	Прямоугольник с соотношением сторон $\eta=l/b$, равном					
	1,0	1,4	1,8	3,2	5	10
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,4	0,960	0,972	0,975	0,977	0,977	0,977
0,8	0,800	0,848	0,866	0,879	0,881	0,881
1,2	0,606	0,682	0,717	0,749	0,754	0,755
1,6	0,449	0,532	0,578	0,629	0,639	0,642
2,0	0,336	0,414	0,463	0,530	0,545	0,550
2,4	0,257	0,325	0,374	0,449	0,470	0,477
3,2	0,160	0,210	0,251	0,329	0,360	0,374
4,0	0,108	0,145	0,176	0,248	0,285	0,306
4,8	0,077	0,105	0,130	0,192	0,230	0,258
6,0	0,051	0,070	0,087	0,136	0,173	0,208
7,2	0,036	0,049	0,062	0,100	0,133	0,175
8,4	0,026	0,037	0,046	0,077	0,105	0,150
10,0	0,019	0,026	0,033	0,056	0,079	0,126
12,0	0,013	0,018	0,023	0,040	0,058	0,106

Напряжения σ_{zp} вычисляют с учетом взвешивающего действия воды.

Удельный вес грунтов во взвешенном состоянии находят по формуле

$$\gamma_{Bi} = g(\rho_{si} - \rho_w)/(1 + e), \quad (4)$$

где ρ_{si} – плотность частиц грунта данного слоя, т/м³;

ρ_w – плотность воды, т/м³; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81\text{м/с}^2$.

Эпюры напряжений σ_z и σ_{zp} вычерчивают на миллиметровой бумаге.

Осадку определяют путем суммирования осадок отдельных слоев в пределах сжимаемой толщи по формуле

$$S = 0.8 \sum (\sigma_i h_i / E_i), \quad (5)$$

где σ_i – среднее дополнительное напряжение от нагрузки, передаваемой грунту фундаментом; h_i , E_i – толщина и модуль общей деформации i -го слоя.

За нижнюю границу сжимаемой толщи принимают глубину, на которой напряжения от фундамента составляют 20% от природного давления в грунте. Эту границу легко найти графически – путем наложения на эпюру σ_z эпюры σ_{zp} , уменьшенную в пять раз.

Пример решения

Исходные данные: $l = 3\text{ м}$; $b = 2,4\text{ м}$; $h = 2,0\text{ м}$; $P = 2200\text{ кН}$; $H_1 = 4\text{ м}$; $h_w = 2,7\text{ м}$; $\gamma_1 = 18\text{ кН/м}^3$; $\rho_{s1} = 2,65\text{ т/м}^3$; $e_1 = 0,65$; $\rho_{s2} = 2,70\text{ т/м}^3$; $e_2 = 0,76$; $E_1 = 22\text{ МПа}$; $E_2 = 18\text{ МПа}$.

Определяем природное давление на глубинах h , h_w , H_1 и $(h+3b)$: (табл. 7)

При определении $\sigma_{zп}$ ниже УПВ учитываем взвешивающее действие воды. Удельный вес песка и суглинка во взвешенном состоянии:

$$\gamma_{B1} = (2,65 - 1) \cdot 9,81 / (1 + 0,65) = 9,81\text{ кН/м}^3;$$

$$\gamma_{B2} = (2,70 - 1) \cdot 9,81 / (1 + 0,76) = 9,48\text{ кН/м}^3.$$

Таблица 7

Напряжения $\sigma_{zп}$ от природного давления грунта

Расстояние от поверхности земли, м	$\gamma_i \cdot h_i$, кПа	$\sigma_{zп}$, кПа
2	36,00	36,00
2,7	12,60	48,60
4	12,75	61,35
9,2	49,30	110,65

Вычисляем напряжение ρ_{oc} , влияющее на осадку:

$$\rho_{oc} = 2200 / (3 \cdot 2,4) - 18 \cdot 2 = 269,56\text{ кПа}.$$

Находим отношение

$$\eta = 3 / 2,4 = 1,25.$$

По формуле (3) вычисляем σ_z , принимая различные значения ξ по табл. 6. Коэффициент α_0 находим путем линейной интерполяции данных этой таблицы между значениями $\eta = 1,2$ и $\eta = 1,4$. Результаты вычислений заносим в табл. 7. Находим нижнюю границу сжимаемой толщи (НГСТ) графическим путем (рис. 3). Напряжения на этой границе $\sigma_z = 20,9\text{ кПа}$. Мощность сжимаемой толщи $h_c = 6,24 + 0,26 = 6,5\text{ м}$.

Вычисляем осадку фундамента:

$$S = 0,8 \{ 1/22000 [0,48(0,5 \cdot 269,56 + 260,66 + 224,81 + 177,91 + 0,5 \cdot 138,13) + 0,5 \cdot 0,08 (138,13 + 127,02)] + 1/18000 [0,5 \cdot 0,4(127,02 + 104,59) + 0,96(0,5 \cdot 104,59 + 64,42 + 42,59 + 27,50 + 0,5 \cdot 22,10) + 0,5 \cdot 0,26 (22,10 + 20,90)] \} = 0,0265\text{ м} = 2,65\text{ см}.$$

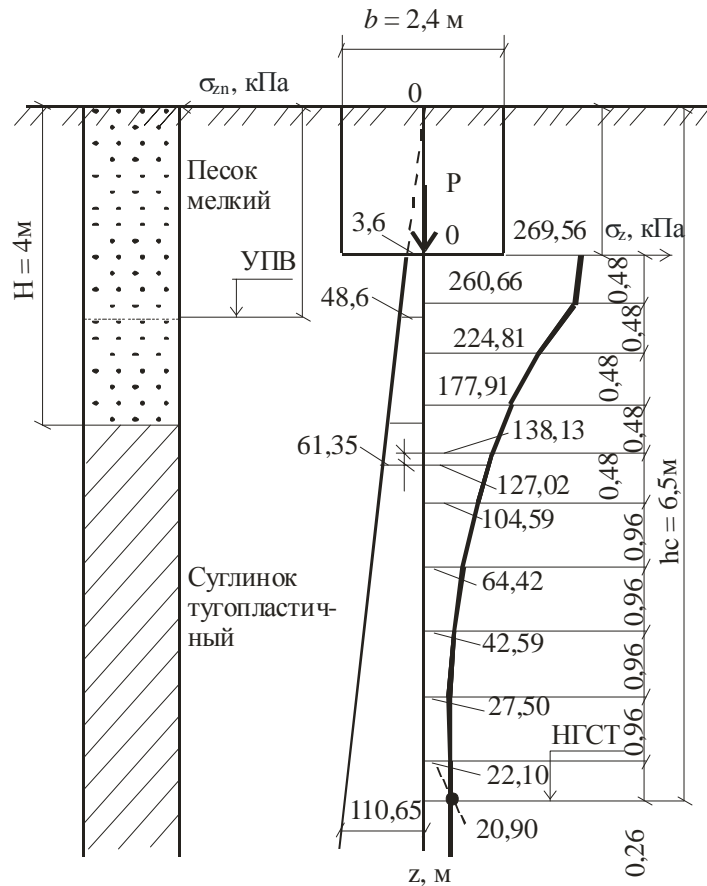


Рис.3. Схема для расчета осадка фундамента методом послойного суммирования

Таблица 8

Напряжения σ_z от полезной нагрузки

ξ	$z = 0,5 \cdot \xi b, \text{ м}$	α_0	$\sigma_z = \alpha_0 \rho_{oc}, \text{ кПа}$
0	0	1	269,56
0,40	0,48	0,969	260,66
0,80	0,96	0,834	224,81
1,20	1,44	0,660	177,91
1,60	1,92	0,505	138,13
1,67	2,00	0,471	127,02
2,00	2,40	0,388	104,59
2,80	3,36	0,239	64,42
3,60	4,32	0,158	42,59
4,40	5,28	0,102	27,50
5,20	6,24	0,082	22,10
6,00	7,20	0,062	16,71

Задание 3

Построить эпюры активного и пассивного давления грунта на гладкую (угол трения грунта о стенку равен нулю) подпорную стенку по методу Кулона. Грунт за стенкой и в основании глинистый.

Варианты (табл. 9)

Исходные данные: высота стенки H , заглубление h , ширина стенки b , удельный вес грунта γ , угол внутреннего трения φ , сцепление пылевато-глинистого грунта c .

Таблица 9

№ варианта	H , м	h , м	b , м	γ , кН/м ³	φ , град.	c , кПа
0	8	3,0	2,8	19,8	20	22
1	9	3,2	2,6	19,6	24	19
2	7	2,4	2,2	18,9	22	21
3	10	3,5	2,4	19,4	23	20
4	6	1,5	4,0	18,3	25	18
5	12	4,5	3,0	19,1	21	20
6	8	3,0	2,1	19,0	24	19
7	4	1,0	2,0	19,3	20	21
8	5	1,5	2,2	17,7	19	25
9	6	2,0	3,4	18,8	25	22

Методика решения

Определяют значение интенсивности активного давления грунта на уровне подошвы стенки без учета сцепления (рис. 4).

$$p_{\alpha\varphi} = \gamma H \lambda_{\alpha}; \quad \lambda_{\alpha} = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (6)$$

Сила активного давления грунта без учета сцепления

$$F_{\alpha\varphi} = 0,5 p_{\alpha\varphi} H = 0,5 \gamma H^2 \lambda_{\alpha}. \quad (7)$$

Составляющая активного давления за счет сцепления

$$P_{ac} = 2c \sqrt{\lambda_{\alpha}} = 2c \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (8)$$

Полное значение интенсивности активного давления грунта на уровне подошвы стенки

$$\rho_{\alpha} = \rho_{\alpha\varphi} - \rho_{ac}. \quad (9)$$

Высота, в пределах которой фактически не возникает активного давления связного грунта:

$$h_o = \rho_{ac} / (\gamma \lambda_{\alpha}) = 2c / [\gamma \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)]. \quad (10)$$

Высота результирующей эпюры активного давления грунта:

$$H_p = H - h_o. \quad (11)$$

Результирующая сила активного давления связного грунта:

$$F_{\alpha} = 0,5p_{\alpha}H_p. \quad (12)$$

Точка приложения силы F_{α} от подошвы стенки находится на расстоянии $l_{\alpha} = H_p/3$.

Находят составляющую интенсивности пассивного давления на уровне подошвы стенки за счет трения:

$$p_{\pi\varphi} = \gamma h \lambda_{\pi}; \quad \lambda_{\pi} = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right). \quad (13)$$

Составляющие интенсивности пассивного давления за счет сцепления

$$p_{nc} = 2c \sqrt{\lambda_{\pi}} = 2c \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right). \quad (14)$$

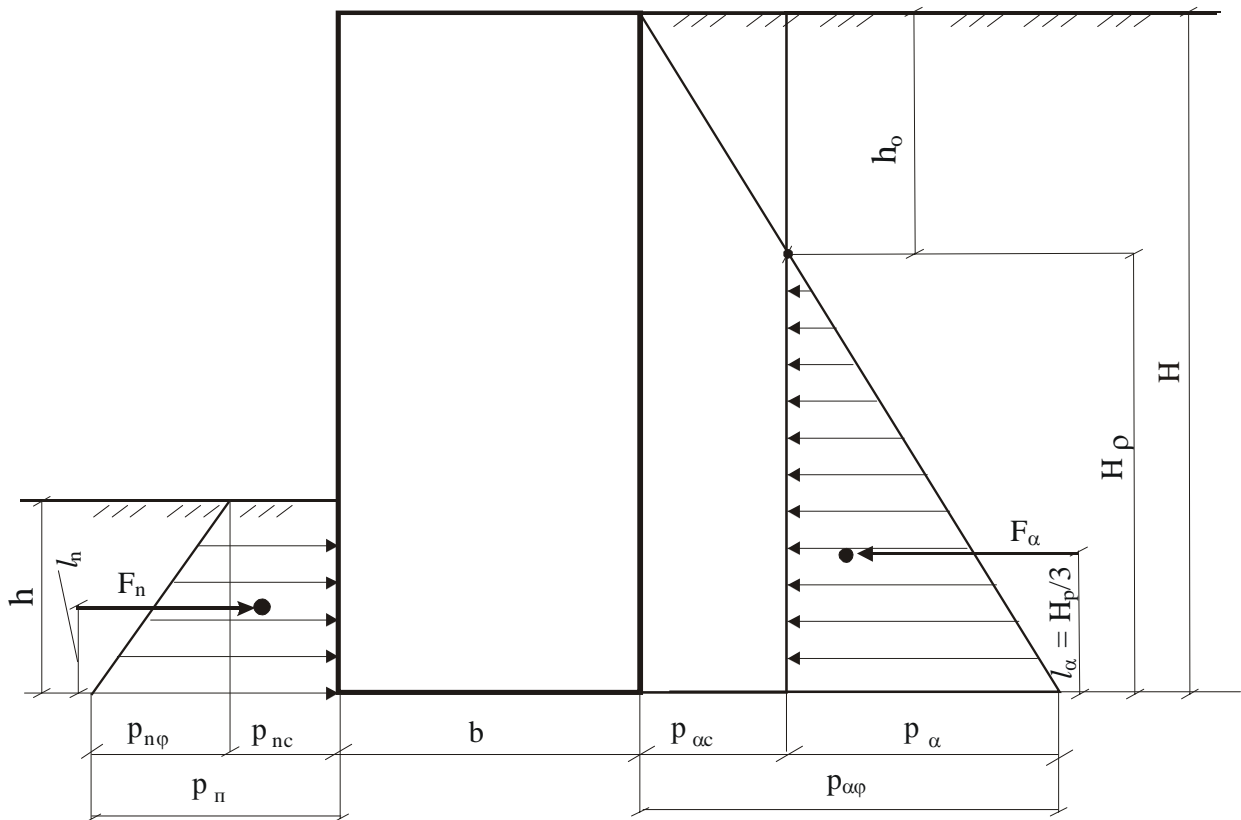


Рис. 4. Схема стенки, эпюры активного F_a и пассивного F_n давлений грунта

Полное значение интенсивности пассивного давления грунта на уровне подошвы стенки

$$p_{\pi} = p_{\pi\varphi} - p_{nc}. \quad (15)$$

Полная сила пассивного давления

$$F_n = 0,5(p_{n\varphi} + 2p_{nc})h. \quad (16)$$

Точка приложения силы F_{Π} от подошвы стенки находится на расстоянии

$$l_n = h \frac{p_{nc} + p_{n\phi} / 3}{2p_{nc} + p_{n\phi}}. \quad (17)$$

После выполнения вычислений по указанным формулам в масштабе изображают схему стенки с указанием её размеров. Строят на том же чертеже эпюры давлений грунта (с проставлением значений ординат), показывают результирующие силы F_{α} , F_{Π} и плечи сил l_{α} и l_{Π} (см. рис. 4)

Пример решения

Исходные данные: $H = 6$ м; $h = 1,5$ м; $b = 2,0$ м; $r = 18,3$ кН/м³; $\phi = 25^\circ$; $c = 18$ кПа.

Определяем значение интенсивности активного давления грунта на уровне подошвы стенки без учета его сцепления:

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - 12,5^\circ) = 0,406; P_{a\phi} = 18,3 \cdot 6 \cdot 0,4059 = 44,57 \text{ кПа.}$$

Сила активного действия грунта без учета сцепления грунта составит:

$$F_{a\phi} = 0,5 \cdot 18,3 \cdot 36 \cdot 0,406 = 133,70 \text{ кН.}$$

Составляющая активного давления за счет сцепления грунта:

$$p_{ac} = 2 \cdot 18 \cdot \sqrt{0,4059} = 22,94 \text{ кПа.}$$

Полное значение интенсивности активного давления грунта на уровне подошвы стенки:

$$p_a = 44,568 - 22,936 = 21,63 \text{ кПа}$$

Высота, в пределах которой фактически не возникает активного давления связного грунта:

$$h_o = 22,936 / (18,3 \cdot 0,4059) = 3,09 \text{ м.}$$

Высота результирующей эпюры активного давления грунта:

$$H_p = 6 - 3,09 = 2,91 \text{ м.}$$

Результирующая сила активного давления связного грунта:

$$F_a = 0,5 \cdot 21,63 \cdot 2,91 = 31,50 \text{ кН.}$$

Точка приложения силы F_a от подошвы стенки находится на расстоянии:

$$l_a = 2,91/3 = 0,97 \text{ м.}$$

Находим составляющую интенсивности пассивного давления на уровне подошвы стенки за счет трения

$$\lambda_n = \text{tg}^2(45^\circ + 12,5^\circ) = 2,46; p_{\text{нп}} = 18,3 \cdot 1,5 \cdot 2,46 = 67,63 \text{ кПа.}$$

Составляющая интенсивности пассивного давления за счет сцепления:

$$p_{\text{нс}} = 2 \cdot 18 \sqrt{2,46} = 56,51 \text{ кПа.}$$

Полное значение интенсивности пассивного давления на уровне подошвы стенки

$$p_n = 67,63 + 56,51 = 124,14 \text{ кПа.}$$

Полная сила пассивного давления

$$F_n = 0,5(67,63 + 2 \cdot 56,51) \cdot 1,5 = 135,49 \text{ кН.}$$

Точка приложения силы F_n от подошвы стенки находится на расстоянии:

$$l_n = 1,5 \frac{56,51 + 67,63/3}{2 \cdot 56,51 + 67,63} = 0,66 \text{ м.}$$

Задание 4

Определить краевую критическую нагрузку на грунт и предел пропорциональности грунта в основании фундамента мелкого заложения.

Варианты (табл. 10)

Исходные данные: h – глубина заложения фундамента; b – ширина подошвы фундамента; γ – удельный вес грунта; c – сцепление грунта; φ – угол внутреннего трения грунта.

Методика решения

Краевую критическую нагрузку на грунт определяют по формуле Н.П.Пузыревского:

$$p_{кр} = \pi(\gamma h + c \cdot \text{ctg}\varphi) / (\text{ctg}\varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi) + \gamma h. \quad (18)$$

Предел пропорциональности рассчитывают по формуле

$$p_{\text{пл}} = \pi(\gamma h + 0,25\gamma b + c \cdot \text{ctg}\varphi) / (\text{ctg}\varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi) + \gamma h. \quad (19)$$

Таблица 10

№ варианта	h , м	b , м	γ , кН/м ³	φ , град.	c , кПа
0	2,0	4,0	18,6	21	20
1	1,5	3,0	19,8	19	24
2	1,4	2,8	19,7	20	22
3	1,2	2,6	19,2	19	23
4	1,8	3,2	18,8	18	25
5	1,7	3,4	19,5	20	21
6	1,8	3,8	19,1	19	23
7	1,8	4,0	19,0	21	22
8	1,6	3,0	18,9	19	24
9	1,5	3,1	19,3	21	20

Пример решения

Исходные данные: $h = 1,6$ м; $b = 3,3$ м; $\gamma = 18,6$ кН/м³; $c = 18$ кПа; $\varphi = 22^\circ$.

Угол φ в радианах: $\varphi = 22\pi/180 = 0,384$; $\text{ctg}\varphi = 2,4755$.

$$P_{кр} = 3,142(18,6 \cdot 1,6 + 18 \cdot 2,475) / (2,475 + 0,384 - 1,571) + 18,6 \cdot 1,6 = 233,457 / 1,288 + 29,76 = 210,98 \text{ кПа.}$$

$$p_{\text{пл}} = (233,457 + 3,142 \cdot 0,25 \cdot 18,6 \cdot 3,2) / 1,288 + 29,76 = 247,26 \text{ кПа.}$$

Задание 5

Для тех же условий, что и в задаче 4 (см. табл. 10), найти интенсивность предельного давления на грунт для гибкого сооружения, используя решения Прандтля-Новоторцева и Соколовского.

Нагрузку считать приложенной вертикально. Сделать сравнение полученных результатов в задачах 4 и 5 между собой.

Методика решения

Интенсивность предельного давления на грунт без учета влияния веса грунта ниже подошвы гибкого сооружения определяют по формуле Прандтля-Новоторцева:

$$p_{np} = N_q \gamma h + N_c c_g, \quad (20)$$

в которой коэффициенты несущей способности грунта рассчитываются по следующим выражениям:

$$N_q = \exp(\pi \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg}^2(\pi/4 + \varphi/2);$$
$$N_c = c \cdot \operatorname{tg} \varphi [\exp(\pi \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg}^2(\pi/4 + \varphi/2) - 1].$$

Предельное давление с учетом влияния веса грунта ниже подошвы сооружения, находят по формуле Соколовского:

$$p_{np} = N_\gamma \gamma x + N_q \gamma h + N_c c, \quad (21)$$

где N_γ – коэффициент несущей способности грунта (табл. 11).

Таблица 11

Значения коэффициентов несущей способности грунта N_γ

Угол внутреннего трения грунта φ , град								
0	5	10	15	20	25	30	35	40
0,00	0,17	0,56	1,40	3,16	6,92	15,32	35,19	86,46

Для краевых точек ($x = 0$ и $x = b$):

$$p_{np.c} = N_q \gamma h + N_c c; \quad (22)$$

$$p_{np.b} = p_{np.o} + N_\gamma \gamma b. \quad (23)$$

Пример решения

Находим предельное давление по формуле (20) для тех же исходных данных, что и в примере решения задачи 4.

Вычисляем коэффициенты N_q и N_c :

$$N_q = \exp(3,14 \cdot 0,404) \operatorname{tg}^2(45^\circ + 11^\circ) = 3,56 \cdot 2,2 = 7,83;$$

$$N_c = \operatorname{ctg} 22^\circ (7,82 - 1) = 2,46 \cdot 6,82 = 16,88.$$

Вычисляем предельное давление по решению Соколовского:

$$p_{np} = 7,82 \cdot 18,6 \cdot 1,6 + 16,88 \cdot 18 = 536,65 \text{ кПа.}$$

Давление в крайней точке со стороны действия пригрузки будет таким же, как и в решении Прандтля-Новоторцева:

$$p_{np.c} = 536,65 \text{ кПа.}$$

По табл.11 для $\varphi = 22^\circ$, интерполируя линейно, получим $N_\gamma = 4,66$.
Давление в крайней точке при $x = b = 3,2$ м составит:

$$p_{np.b} = 536,65 + 4,66 \cdot 18,6 \cdot 3,2 = 814,25 \text{ кПа.}$$

Среднее давление в пределах ширины $b = 3,2$ м составит:

$$p_{np.c} = 0,5(p_{np.c} + p_{np.b}) = 0,5(536,65 + 814,25) = 675,45 \text{ кПа.}$$

Сопоставим значения в кПа: $p_{кр} = 210,98$; $p_{пц} = 247,26$; $p_{пц} = 536,65$; $p_{пдс} = 675,45$. По данным примеров решения задач 4 и 5 имеем:

$$210,98 < 247,26 < 536,65 < 675,45 \text{ кПа.}$$

Предел пропорциональности грунта превышает краевую критическую нагрузку на 17,2 %. Предельное давление в 2,17 раза, а среднее предельное давление (с учетом влияния веса грунта ниже подошвы сооружения) в 2,73 раза больше предела пропорциональности грунта.

Библиографический список

1. Механика грунтов. Основы геотехники в строительстве: Учебник / Далматов Б.И. и др. – М.: Изд-во АСВ; Спб.:СпбГА – су, 2000. – 204 с.
2. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учеб. пособие для строит. спец. вузов/ С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский и др. Под ред. Ухова С.Б. – 2 изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2002. – 566 с.
3. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии). – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1988. – 415 с.
4. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): Учебник для строит. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1993. – 288 с.

Приложение.

Перевод единиц измерения системы МКГС (технической) в единицы системы СИ

Величина	Прежн ее обозначение единицы измерения	Обозна чение единицы в системе СИ	Основн ая единиц а в системе СИ	Крат ная едини ца в СИ	Соотношение единиц
Сила, нагрузка, вес	кгс тс	Н	ньютон	кН МН	$1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ Н};$ $1 \text{ тс} = 9,81 \cdot 10^3 \text{ Н} = 9,81 \text{ кН};$ $1 \text{ кН} = 10^3 \text{ Н}; 1 \text{ МН} = 10^3 \text{ кН} = 10^6 \text{ Н}$
Момент силы	кгс·м тс·м	Н·м	ньютон ·метр	кН·м МН·м	$1 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ Н} \cdot \text{м};$ $1 \text{ тс} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ кН} \cdot \text{м}$
Давление, напряжение, модуль деформации, модуль упругости	кгс/см ² тс/см ²	Па	паскал ь	кПа МПа	$1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па} = 98,1 \text{ кПа}$ $= 0,0981 \text{ МПа};$ $1 \text{ тс/м}^2 = 9,81 \cdot 10^3 \text{ Па} = 9,81 \text{ кПа};$ $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2; 1 \text{ кПа} = 1 \text{ кН/м}^2$
Масса	кгс/(м·с ⁻²)	кг	килогр амм	-	$1 \text{ кгс/(м} \cdot \text{с}^{-2}) = 9,81 \text{ кг}$
Работа, энергия	кгс·м	Дж	джоуль	кДж	$1 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ Дж}; 1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$
Мощность	кгс·м/с	Вт	ватт	кВт	$1 \text{ кгс} \cdot \text{м/с} = 9,81 \text{ Вт};$ $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$

Примечание. В таблице не указаны те единицы, которые при переводе в систему СИ остаются без изменения. Наравне с единицами СИ используются следующие: для измерения массы – тонна (т), $1 \text{ т} = 1000 \text{ кг}$; для измерения времени – минута (мин), час (ч), сутки (сут); для измерения плоского угла – градус (⁰). Перевод единиц произведен с точностью, достаточной для инженерных расчетов оснований и фундаментов.