

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет
имени И. Т. Трубилина»

К. Э. Коленченко, О.Ю. Ещенко

ОСНОВЫ ГЕОТЕХНИКИ

Методические указания к выполнению контрольной работы
заочников

Краснодар
КубГАУ
2021

Составители: Коленченко К. Э., Ещенко О.Ю.

Основы геотехники : метод. указания / К. Э. Коленченко. – Краснодар : КубГАУ, 2021. – 24 с.

В методических указаниях приведены задания и изложена методика выполнения контрольной работы. В работе рассматриваются ключевые вопросы основ геотехники, необходимые для проведения практической оценки геотехнических условий строительства и назначения параметров строительных сооружений. Описаны методы решения практических задач по определению прочностных и деформационных характеристик грунта, параметров напряженного состояния, величины осадки грунта основания под сооружением, давлений, испытываемых подпорными сооружениями. Приведены примеры решения задач.

Предназначены для обучающихся заочно по направлению подготовки 08.03.01 - Строительство.

Рассмотрено и одобрено методической комиссией архитектурно-строительного факультета КубГАУ, протокол № от.

Председатель
методической комиссии

А.М. Блягоз

© Коленченко К. Э.,
Ещенко О.Ю., 2021
© ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный аграрный
университет имени
И.Т. Трубилина», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие указания.....	4
1. Определение параметров деформируемости грунта по данным лабораторных испытаний.....	5
2. Определение параметров прочности грунта по данным лабораторных испытаний	7
3. Определение напряжений в массиве грунта от сосредоточенной нагрузки.....	8
4. Расчет осадки грунтового основания методом послойного суммирования.....	11
5. Определение устойчивости грунтового откоса методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения.....	15
6. Расчет давления грунта на гладкую подпорную стенку.....	19

Общие указания

Контрольная работа выполняется студентами – заочниками с целью более глубокого понимания и закрепления знаний по дисциплине «Основы геотехники». В заданиях работы рассмотрены основополагающие вопросы дисциплины, имеющие первостепенное значение при проведении практической оценки геотехнических условий строительства и назначении параметров строительных сооружений.

Контрольная работа составлена в соответствии с рабочей программой дисциплины и содержит задания по определению прочностных и деформационных характеристик грунта, параметров напряженного состояния, величины осадки грунта основания под сооружением, давлений, испытываемых подпорными сооружениями.

Выполненная работа должна соответствовать стандартным требованиям, предъявляемым к оформлению и содержанию данного вида работ. Работа должна содержать пояснительную записку, включающую: исходные данные, теоретическую часть, отражающую методику расчетов, сами расчеты и их результаты, графическую часть со всеми необходимыми обозначениями и размерами, список литературы. Пояснительная записка выполняется на листах формата А4. Все расчетные данные и показатели должны сопровождаться единицами измерения. Расчеты необходимо сопровождать ссылками на соответствующую литературу. Список использованной литературы, включая методические указания, по которым выполнялась контрольная работа, оформляют в конце пояснительной записки.

Работа выполняется каждым студентом самостоятельно в соответствии с вариантом, выданным преподавателем. При выполнении и отправке в электронной форме работа оформляется в одном файле формата PDF. Графическую часть задания следует выполнять в графическом редакторе, или нарисовать от руки и отсканировать, а затем вставить в файл, где оформлена пояснительная записка.

Задание № 1. Определение параметров деформируемости грунта по данным лабораторных испытаний

В результате компрессионных испытаний грунта в одометре получены значения осадки образца S_i при различном давлении P_i (таблица 1). По результатам испытаний построить график компрессионной зависимости (компрессионную кривую) $e = f(p)$, определить для заданного расчетного интервала давлений ($P_1 - P_2$) коэффициент относительной сжимаемости и модуль деформации, охарактеризовать степень сжимаемости грунта. Первоначальная высота образца грунта $h = 20$ мм.

Таблица 1 – Данные компрессионных испытаний грунта
в одометре

Номер ва- рианта	Начальный коэффици- ент пори- стости грунта e_0	Полная осадка образца грунта S_i , мм при нагрузке P_i , МПа					Расчетный интер- вал давлений, МПа	
		0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	P_1	P_2
1	0,574	0,13	0,33	0,62	0,78	1,02	0,05	0,2
2	0,646	0,15	0,24	0,41	0,55	0,79	0,05	0,2
3	0,673	0,20	0,35	0,66	0,86	1,12	0,05	0,3
4	0,540	0,14	0,29	0,46	0,59	0,75	0,05	0,3
5	0,734	0,10	0,18	0,31	0,42	0,57	0,05	0,2
6	0,571	0,13	0,27	0,49	0,69	0,99	0,1	0,3
7	0,677	0,25	0,50	0,87	1,10	1,39	0,05	0,3
8	0,707	0,14	0,29	0,46	0,60	0,74	0,1	0,3
9	0,656	0,22	0,43	0,69	0,91	1,17	0,05	0,3
0	0,681	0,14	0,29	0,43	0,56	0,70	0,05	0,2

Методика решения.

Для построения компрессионной кривой и определения коэффициента относительной сжимаемости грунта определяют коэффициенты пористости грунта e_i , соответствующие заданным ступеням нагрузки, по формуле

$$e_i = e_0 - \frac{S_i}{h}(1 + e_0),$$

где e_i - искомое значение коэффициента пористости грунта после уплотнения под нагрузкой P_i ; e_0 - начальное (до уплотнения) значение коэффициента пористости грунта; S_i - полная осадка

образца грунта при заданной нагрузке P_i , измеренная от начала загрузки; h - начальная (до уплотнения) высота образца грунта. По результатам расчета строится график компрессионной зависимости (ветвь нагрузки) $e_i = f(p_i)$:

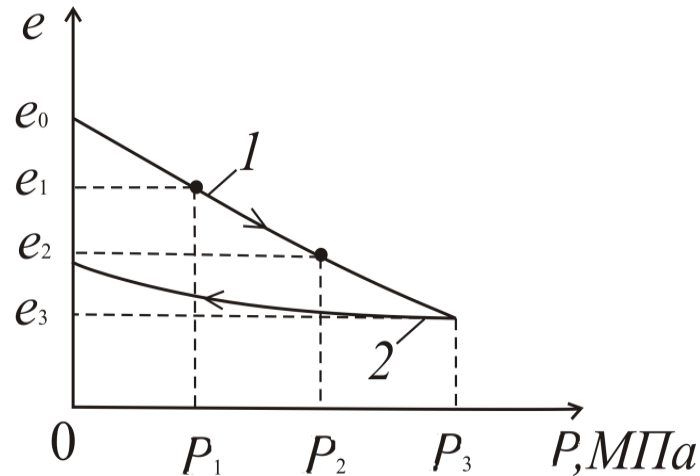


Рисунок 1 – Компрессионная кривая: 1 – ветвь нагрузки; 2 – ветвь разгрузки

Коэффициент относительной сжимаемости грунта m_v определяется по формуле

$$m_v = \frac{m_o}{1 + e_0},$$

где m_o - коэффициент сжимаемости грунта для заданного расчетного интервала давлений:

$$m_o = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1} = \frac{e_1 - e_2}{P},$$

e_1 и e_2 - коэффициенты пористости, соответствующие давлениям P_1 и P_2 ; $P_2 - P_1 = P$ - заданный расчетный интервал давлений, или так называемое действующее давление.

По величине коэффициента относительной сжимаемости m_v делают вывод о сжимаемости грунтов. При значениях m_v порядка 1 МПа^{-1} - грунт сильносжимаемый; при m_v порядка $0,1 \text{ МПа}^{-1}$ - среднесжимаемый и при m_v порядка $0,01 \text{ МПа}^{-1}$ - малосжимаемый.

Модуль деформации вычисляют для заданного расчетного интервала давлений $P = P_2 - P_1$ по формуле

$$E = \frac{(1 + e_0)\beta}{m_o},$$

где e_0 - начальный коэффициент пористости грунта;
 β - коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в приборе и зависящий от коэффициента Пуассона. Для глинистых грунтов $\beta = 0,4 - 0,6$.

Задание 2. Определение параметров прочности грунта по данным лабораторных испытаний

По результатам лабораторных испытаний грунта на прочность на сдвиговом приборе (таблица 2) построить график зависимости предельных касательных напряжений от нормального (сжимающего напряжения) $\tau = f(p)$ (график сопротивления сдвигу) и определить основные параметры прочности грунта.

Таблица 2 – Данные испытаний грунта на приборе прямого среза

Номер варианта	Предельное сопротивление образца грунта сдвигу τ_i , МПа, при нормальном удельном давлении, передаваемом на образец грунта P_i , МПа					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
1	0,070	0,135	0,199	0,265	0,330	0,398
2	0,064	0,125	0,184	0,250	0,315	0,375
3	0,060	0,095	0,139	0,175	0,206	0,255
4	0,074	0,150	0,225	0,300	0,375	0,450
5	0,080	0,120	0,139	0,175	0,219	0,233
6	0,072	0,140	0,212	0,280	0,356	0,428
7	0,040	0,075	0,101	0,130	0,156	0,188
8	0,074	0,145	0,221	0,290	0,344	0,438
9	0,050	0,085	0,131	0,175	0,219	0,263
0	0,104	0,145	0,180	0,220	0,256	0,293

Методика решения.

Основными параметрами прочности грунта являются угол внутреннего трения φ и сцепление c . Зависимость предельных касательных τ и нормальных σ напряжений (сопротивления сдвигу) описывается линейным уравнением, представляющим собой уравнение предельного равновесия - Закон Кулона:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c$$

По данным лабораторных исследований (таблица 2) строят график сопротивления сдвигу $\tau = f(p)$ (рисунок 2).

Для определения нормативного значения угла внутреннего трения φ^H и сцепления c^H (коэффициенты Кулона), используют уравнение метода наименьших квадратов. В данном случае, это система двух уравнений относительно двух неизвестных, решая которую определяют параметры $tg\varphi$ и c :

$$nc + tg\varphi \sum_{i=1}^n \sigma_i = \sum_{i=1}^n \tau_{пред\ i} ,$$

$$c \sum_{i=1}^n \sigma_i + tg\varphi \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i \tau_{пред\ i} , i = 1...n,$$

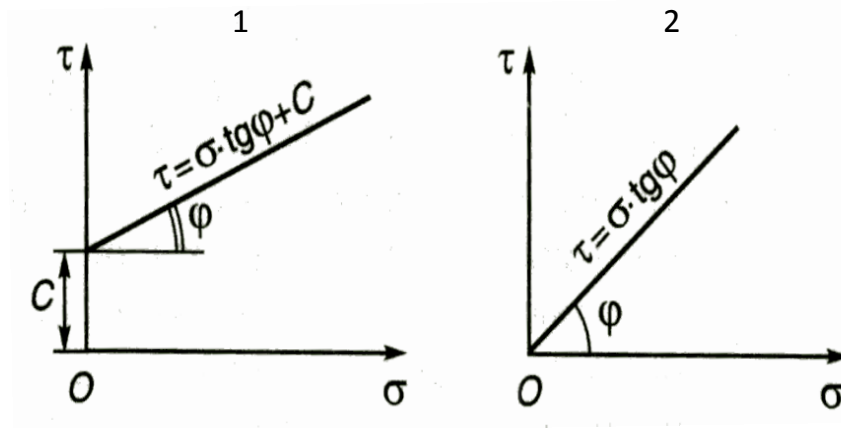


Рисунок 2 – График сопротивления сдвигу для связного (1) и несвязного (2) грунта.

Задание 3. Определение напряжений в массиве грунта от сосредоточенной нагрузки

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.

Методика решения. Вертикальные нормальные напряжения, действующие по горизонтальным площадкам, возникающие в

массиве грунта от сосредоточенной силы P , вычисляют по формуле Буссинеска:

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

Таблица 3 – Исходные данные к заданию 3.

номер варианта	z, м	r, м	P, кН	номер варианта	z, м	v, 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

Значения безразмерного коэффициента K , зависящего от r/z , находят линейным интерполированием по таблице 4.

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

Таблица 4 - 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: $z = 2,5$ м; $r = 3$ м; $P = 250$ кН. Определяем напряжения, возникающие в точках грунтового массива по горизонтальной оси при $z = 2,5$ м. Задаёмся различными значениями r ,м (0;1; 2; 3; 4; 5), находим по таблице 4 коэффициент K (таблица

5). По результатам расчета σ_z строим эпюру (рисунок 3). Аналогично определяем напряжения, возникающие в точках грунтового массива по вертикальной оси, удалённой на расстояние $r = 3$ м от силы P . Результаты расчета сводим в таблицу 6 и строим эпюры напряжений (рисунок 4).

Таблица 5 – Значения коэффициентов K в зависимости от r/z (горизонтальная ось)

$r, \text{м}$	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

Таблица 6 - Значения коэффициентов K в зависимости от r/z (вертикальная ось)

$z, \text{м}$	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

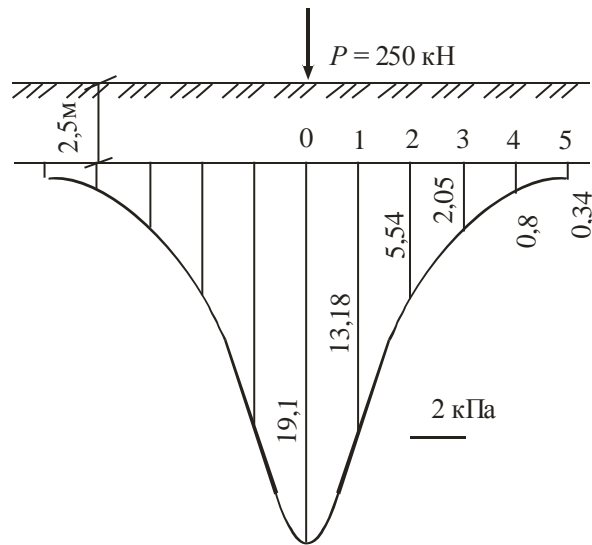


Рисунок 3 - Эпюра напряжений σ_z по горизонтальной оси.

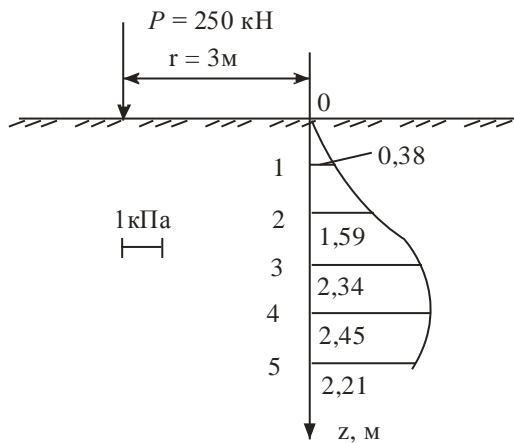


Рисунок 4 - Эпюра напряжений σ_z по вертикальной оси

Задание 4. Расчет осадки грунтового основания методом послойного суммирования.

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

Основание двухслойное: слой 1 – песок мелкий, слой 2 – суглинок тугопластичный. Исходными данными являются (таблица 7): 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 7 - Исходные данные к заданию 4

№ варианта	Размеры фундамента, м			P , кН	H_1 , м	h_w , м	Характеристики грунтов						
	l	b	h				1 слой			2 слой			
							$\gamma_1 \frac{kH}{M^3}$	$\frac{\rho_{s1}, T}{M^3}$	e_1	E_1 , МПа	$\frac{\rho_{s2}, T}{M^3}$	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:

$$p_{oc} = P/A - \gamma_1 h,$$

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:

$$\sigma_z = \alpha_o \cdot p_{oc}$$

и строят эпюру этих напряжений.

Коэффициент α_o определяют в зависимости от $\eta = l/b$ и $\zeta = 2z/b$ по таблице 8, в которой z – расстояние рассматриваемой точки от подошвы фундамента по глубине.

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

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

и строят эпюру σ_{zII} .

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

Таблица 8 – Коэффициенты α_o в зависимости от ξ и η

$\xi = 2z/l$	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 $\sigma_{zп}$ вычисляют с учетом взвешивающего действия воды. Удельный вес грунтов во взвешенном состоянии находят по формуле

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

где ρ_{si} – плотность частиц грунта данного слоя, т/м³; ρ_w – плотность воды, 1т/м³; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81\text{м/с}^2$.

По результатам расчета строят эпюры напряжений.

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

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

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 $\sigma_{zп}$, уменьшенную в пять раз.

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

Определяют природное давление на глубинах h , h_w , H_1 и $(h+3b)$ (таблица 9).

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

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

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

Таблица 9 – Расчет напряжения $\sigma_{zп}$ от собственного веса 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

Вычисляют напряжение ρ_{oc} , влияющее на осадку:

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

Находят отношение

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

Вычисляют σ_z , принимая различные значения ξ по таблице 8. Коэффициент α_0 находят путем линейной интерполяции данных этой таблицы между значениями $\eta = 1,2$ и $\eta = 1,4$. Результаты вычислений заносят в таблицу 9. Находят нижнюю границу сжимаемой толщи (НГСТ) графическим путем (рисунок 5). Напряжения на этой границе $\sigma_z = 20,9$ кПа. Мощность сжимаемой толщи $h_c = 6,24 + 0,26 = 6,5$ м.

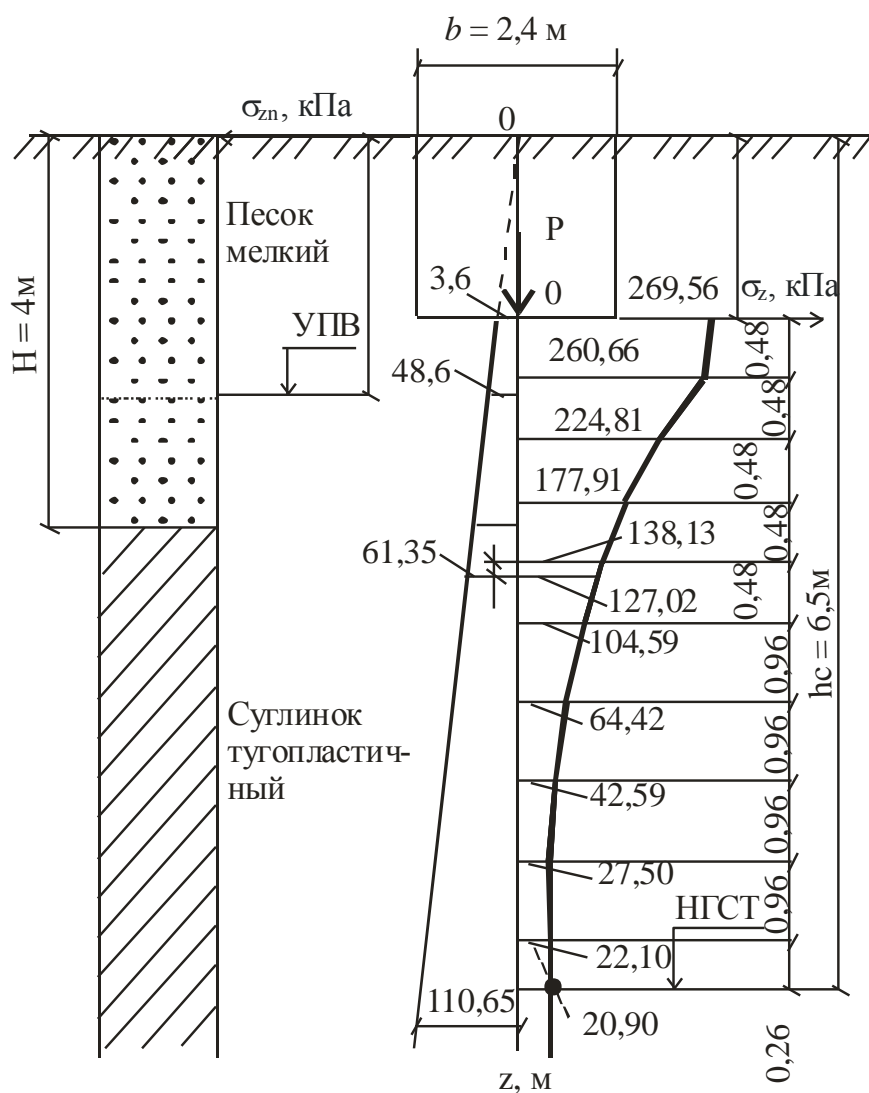


Рисунок 5 - Схема для расчета осадки фундамента методом послойного суммирования

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

Таблица 10 – Расчет 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 5. Определение устойчивости грунтового откоса методом кругло-цилиндрических поверхностей скольжения

Важной задачей при устройстве откосов строительных насыпей и выемок является выбор оптимальной их крутизны (уклона), обеспечивающей достаточную устойчивость земляных сооружений и минимальные затраты при их возведении.

Откосы котлована глубиной H проектируются с заложением m . Грунт в состоянии природной влажности имеет следующие характеристики физико-механических свойств: плотность грунта ρ , угол внутреннего трения φ , удельное сцепление C . Определить методом кругло-цилиндрических поверхностей скольжения величину коэффициента устойчивости откоса. Исходные данные приведены в таблице 11, схема к расчету на рисунке 6.

Таблица 11 - Исходные данные к заданию № 5

Номер варианта	H, см	m	ρ , г/см ³	φ , град	c, МПа
1	800	1,5	1,94	19	0,018
2	1200	1,5	2,05	18	0,021
3	1600	2,0	1,96	16	0,016
4	1400	2,0	2,08	19	0,025
5	900	1,5	1,97	17	0,051
6	1500	2,0	2,01	18	0,047
7	1100	1,5	2,03	16	0,041
8	600	1,5	1,98	21	0,023
9	1300	2,0	1,97	20	0,019
0	700	1,5	1,91	17	0,015

Методика решения. Устойчивость откоса обрушению по методу кругло-цилиндрических поверхностей скольжения характеризуется коэффициентом устойчивости η , который является отношением момента сил, удерживающих откос от обрушения $M_{уд}$ к моменту сил обрушающих $M_{сдв}$:

$$\eta = \frac{M_{уд}}{M_{сдв}} = \frac{(\sum_{i=1}^n N_i \operatorname{tg} \varphi + CL)R}{T_i R},$$

где n - число отсеков, на которые делится призма скольжения; N_i - нормальные составляющие от веса отсеков P_i , равные $P_i \cos \theta_i$; P_i - вес расчетного отсека; θ_i - угол между направлением силы P_i и нормальной составляющей N_i ; φ - угол внутреннего трения; C - удельное сцепление; L - длина дуги скольжения; R - радиус кругло-цилиндрической дуги скольжения; T_i - касательные составляющие от веса отсеков P_i , равные $P_i \sin \theta_i$.

При этом существуют различные варианты расположения кругло-цилиндрической поверхности скольжения, по которой происходит смещение грунта под действием собственной силы тяжести и внешней нагрузки. Следует выбрать наиболее опасный вариант, при котором η будет минимальным. Устойчивость откоса считается обеспеченной, если $\eta_{\min} > \eta_n$ (η_n - коэффициент надежности принимаемый от 1,1 до 1,5).

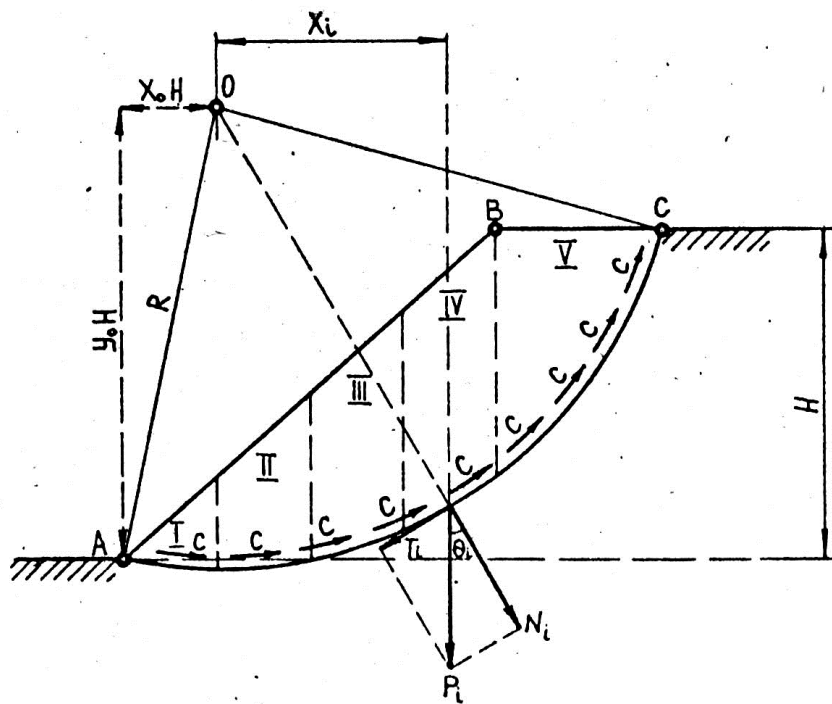


Рисунок 6 – Расчетная схема метода кругло-цилиндрических поверхностей скольжения

Для откосов в однородной толще грунтов координаты центра наиболее опасной кругло-цилиндрической поверхности скольжения $O(x;y)$, для которой коэффициент устойчивости получается минимальным, используется график Янбу (рисунок 7) Координаты точки $O(x;y)$:

$$x = x_0H; \quad y = y_0H,$$

где H - высота откоса; x_0, y_0 - безразмерные величины, устанавливаемые по графику Янбу в зависимости от угла откоса - α , (определяется по заданному заложению откоса m) и λ_{cp} :

$$\lambda_{cp} = \frac{\rho H \cdot \operatorname{tg} \varphi}{C}$$

Вместе с тем, без большой погрешности около 10% в сторону завышения коэффициента запаса, принимая $\cos \theta_i = 1$, формула для определения коэффициента устойчивости откоса может быть записана в более простом виде:

$$\eta = \frac{(\sum_{i=1}^{i=n} N_i \operatorname{tg} \varphi + CL)R}{\sum_{i=1}^{i=n} P_i x_i}$$

где x_i - плечо от линии действия веса расчетного отсека до центра вращения (рисунок 6).

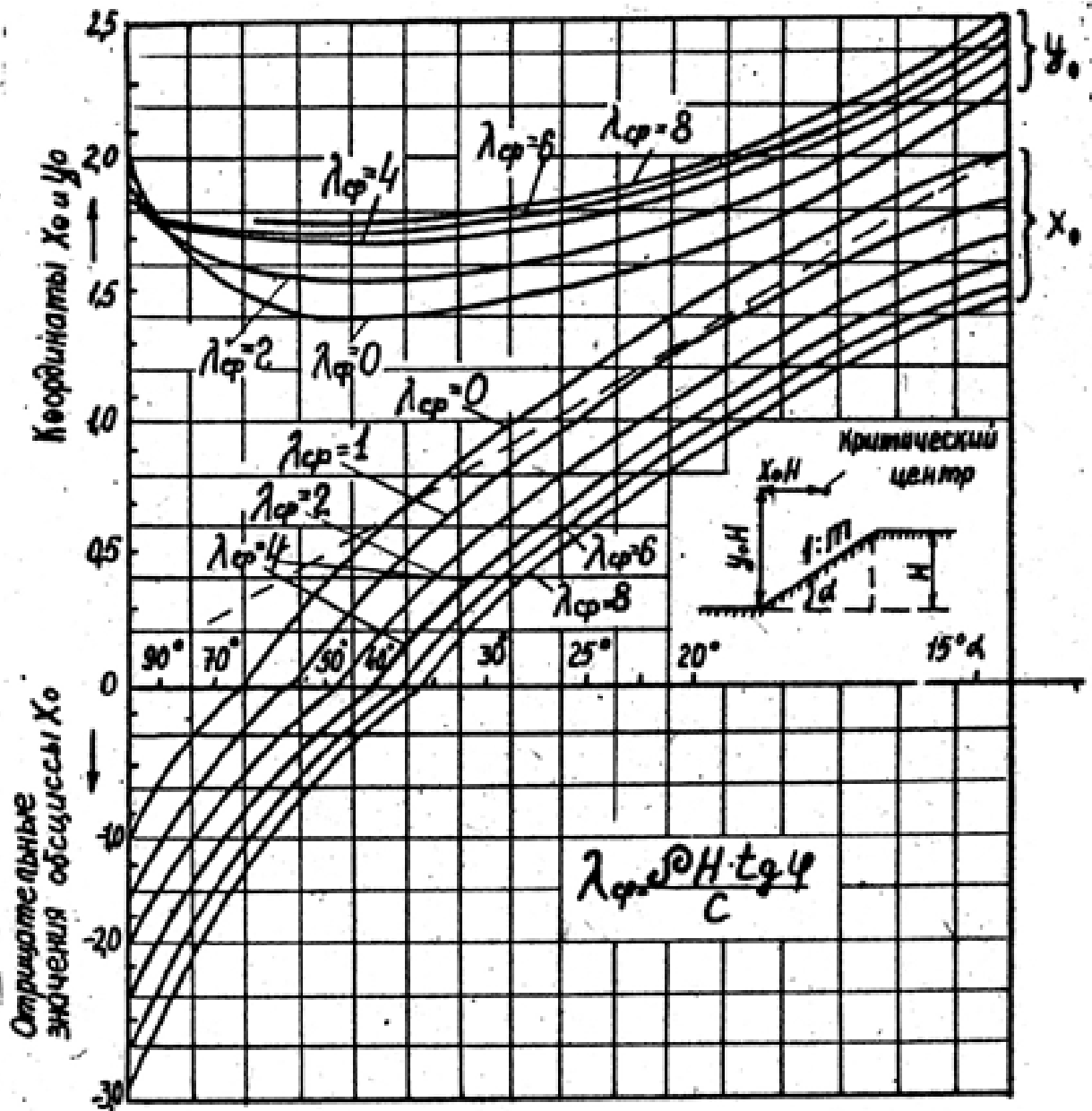


Рисунок 7 – График для определения координат центра наиболее опасной кругло-цилиндрической поверхности скольжения (график Янбу)

Момент принимается для восходящей ветви кривой скольжения - отрицательным, для нисходящей - положительным. Радиус кругло-цилиндрической дуги скольжения R , а также ширину и высоту отсеков допускается определять графически с расчетной схемы (рисунок 6), выполняемой в масштабе 1:100. Для расчета выделяют 1 пог.м по длине откоса (перпендикулярно к плоскости чертежа). Вес расчетного отсека определяется как произведение плотности грунта на объем отсека.

Задание 6. Расчет давления грунта на гладкую подпорную стенку

Гладкая подпорная стенка высотой H , с заглублением в грунт на величину h , шириной b испытывает давление грунта с удельным весом γ , углом внутреннего трения φ , сцеплением пылевато-глинистого грунта c (таблица 12).

Определить величину интенсивности и 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.

Таблица 12 – Исходные данные к заданию 6

№ 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 (рисунок 8).

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

Сила активного давления грунта без учета сцепления

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

Составляющая активного давления за счет сцепления

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

Полное значение интенсивности активного давления грунта на уровне подошвы стенки

$$p_{\alpha} = p_{\alpha\varphi} - p_{ac} .$$

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

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

Высота результирующей эпюры активного давления грунта:

$$H_p = H - h_o .$$

Результирующая сила активного давления связного грунта:

$$F_{\alpha} = 0,5p_{\alpha}H_p .$$

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:

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

Составляющие интенсивности пассивного давления за счет сцепления:

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

Полное значение интенсивности пассивного давления грунта на уровне подошвы стенки

$$p_{\pi} = p_{\pi\varphi} + p_{nc} .$$

Полная сила пассивного давления

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

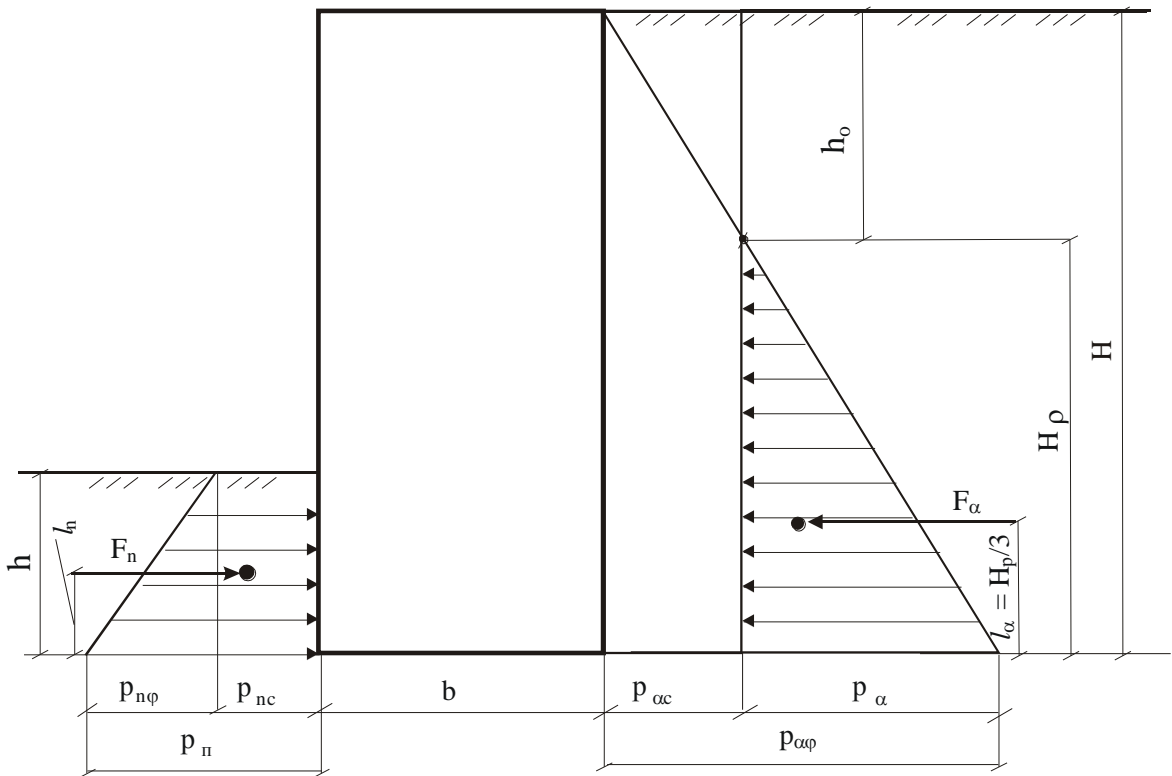


Рисунок 8 – Расчетная схема определения давлений грунта на подпорную стенку

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

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

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; $\varphi = 25^{\circ}$; $c = 18$ кПа.

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

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

Сила активного действия грунта без учета сцепления грунта составит:

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

Составляющая активного давления за счет сцепления грунта:

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

Полное значение интенсивности активного давления грунта на уровне подошвы стенки:

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

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

$$h_0 = 22,936 / (18,3 \cdot 0,4059) = 3,09 \text{ м.}$$

Высота результирующей эпюры активного давления грунта:

$$H_p = 6 - 3,09 = 2,91 \text{ м.}$$

Результирующая сила активного давления связного грунта:

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

Точка приложения силы $F_{\text{а}}$ от подошвы стенки находится на расстоянии:

$$l_{\text{а}} = 2,91 / 3 = 0,97 \text{ м.}$$

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

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

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:

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

Список литературы

1. Мангушев, Р.А. Механика грунтов. М.: Изд-во АСВ, 2015. Электронный ресурс: <http://bookfi.net/book/1503518>.
2. Цитович, Н.А. Механика грунтов. Краткий курс. Изд. 8-е, перераб. И доп. - Спб.: Ленанд, 2014 – 288 с.
3. Методические указания и задание к курсовой работе по механике грунтов для студентов-заочников специальностей инженерно-строительного института. / Сост.: Э.В.Костерин, В.Н.Шестаков. – Омск: изд-во СибАДИ, 2004.– 20с.
4. Механика грунтов. Задания и методические указания к контрольной работе для студентов заочной формы обучения специальностей: 270102 – Промышленное и гражданское строительство, 270114 - Проектирование зданий / Сост. К.Ш. Шадунц, П.А. Ляшенко, С.Г. Смирнов. Кубанский государственный аграрный ун-т, Краснодар, 2013. – 38 с.
5. ГОСТ 25100.2011. Грунты. Классификация. – М. : Изд-во стандартов, 2012. – 67 с. Электронный ресурс: <http://docs.cntd.ru/document/gost-25100-2011>
6. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*. – М. : Минрегион России, 2011. – 162 с.

**Коленченко Константин Эдуардович,
Ещенко Олег Юрьевич**

ОСНОВЫ ГЕОТЕХНИКИ

Методические указания

В авторской редакции

Подписано в печать *Формат*
Усл. печ. л. – 2. Уч.– изд. л. – 3,2.
Тираж экз. Заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13