

1144

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

*Методические указания и задания
для самостоятельной работы студентов,
обучающихся по направлению подготовки
08.05.01 (271101.65) «Строительство уникальных
зданий и сооружений»*

Воронеж 2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Воронежский государственный архитектурно строительный университет»

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

*Методические указания и задания
для самостоятельной работы студентов,
обучающихся по направлению подготовки
08.05.01 (271101.65) «Строительство уникальных
зданий и сооружений»*

Воронеж 2015

УДК 624.131 (07)
ББК 38.58 я 73

Механика грунтов: метод. указания и задания для самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.05.01 (271101.65) «Строительство уникальных зданий и сооружений» /Воронежский ГАСУ; сост.: М.С. Ким, В.Х. Ким. – Воронеж, 2015. – 27 с.

Приведены задания, порядок выполнения и рекомендуемая литература для самостоятельной работы студентов по курсу Механики грунтов.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.05.01 (271101.65) «Строительство уникальных зданий и сооружений» специализаций: "Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений" и "Строительство подземных сооружений" всех форм обучения.

Ил. 11. Табл. 10. Библиогр.: 8 назв.

УДК 624.131 (07)
ББК 38.58 я 73

Используется по решению учебно-методического совета
Воронежского ГАСУ

*Рецензент - С.В. Иконин, проф. кафедры строительных конструкций,
оснований и фундаментов имени Ю.М.Борисова
Воронежского ГАСУ*

ВВЕДЕНИЕ

Механика грунтов является одной из основных инженерных дисциплин для студентов всех строительных специальностей и служит теоретической основой расчета оснований и фундаментов. Применение ее достижений в проектной и производственной практике позволяет полнее использовать несущую способность грунтов оснований, выбирать наиболее экономичные и рациональные конструкции и способы возведения фундаментов зданий и инженерных сооружений с учетом инженерно-геологических условий.

Механика грунтов тесно связана с другими инженерными дисциплинами. Для освоения курса механики грунтов необходимо знание математики, физики, инженерной геологии, сопротивления материалов, строительной механики, теории упругости.

Самостоятельная (внеаудиторная) работа является одной из ответственных составляющих учебного процесса и имеет целью закрепить теоретические знания, полученные студентами за период изучения курса. В процессе самостоятельной работы студенты должны научиться применять теоретические знания к решению конкретных задач, пользоваться справочными материалами и другими литературными источниками.

В процессе самостоятельной работы у студентов происходит формирование следующих компетенций:

- способность понимать сущность и значение информации в развитии современного общества и самостоятельно приобретать новые знания;
- владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером;
- умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и теоретического исследования;
- способность выявлять естественнонаучную сущность задач и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

1. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ И ПОРЯДОК ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЯ

Задания для самостоятельной работы студентов составлены в соответствии с программой дисциплины и учебным планом.

Данные методические указания содержат шесть задач по следующим основным разделам: напряжения в грунтах от действия внешних сил - задачи № 1, 2; деформации грунтов и расчет осадок сооружений - задачи № 3, 4; теория предельного напряженного состояния грунтов, ее приложение - задачи № 5, 6.

Для самостоятельной работы необходимо выбрать исходные данные для решения соответствующих задач из таблиц, помещенных в настоящих методических указаниях. Задание выбирается по следующему правилу: задачи выполняются студентом по варианту, соответствующему последней цифре учебного шифра (номера зачетной книжки).

2. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задача № 1. К горизонтальной поверхности линейно деформируемого полупространства в одном створе приложены три вертикальные сосредоточенные силы P_1 , P_2 , P_3 , расстояние между осями действия сил r_1 и r_2 . Определить величины вертикальных составляющих напряжений σ_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 Z от поверхности массива грунта. Точки по вертикали расположить от поверхности на расстоянии 1, 2, 4, 6 м. Точки по горизонтали расположить вправо и влево от оси действия силы P_2 на расстоянии 0, 1, 3 м. По вычисленным напряжениям и заданным осям построить эпюры распределения напряжений σ_z . Исходные данные приведены в табл. 1. Схема к расчету представлена на рис. 1.

Таблица 1

Исходные данные к задаче № 1

Номер варианта	P_1 , кН	P_2 , кН	P_3 , кН	r_1 , м	r_2 , м	Z , м
1	1200	800	1400	1	2	3
2	1200	800	1200	2	2	2,5
3	1900	600	1300	3	1	2
4	1300	500	1500	3	2	3
5	1100	700	1800	2	3	2
6	1800	800	1600	3	2	1,5
7	1000	600	1100	1	1	2
8	1800	800	1400	3	1	3
9	1500	700	1900	2	3	2,5
0	1300	600	1300	2	2	2

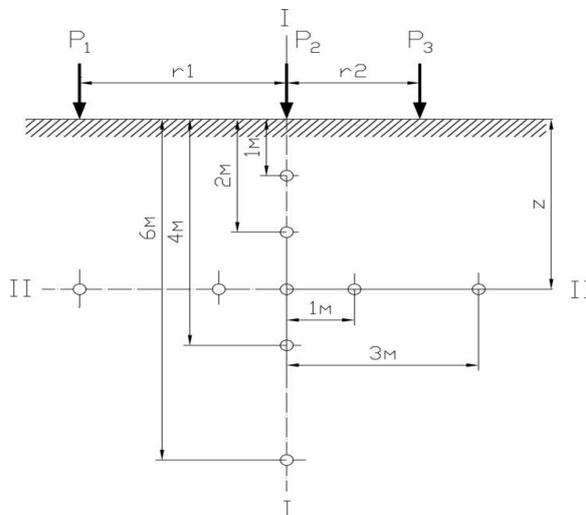


Рис. 1. Расчетная схема к задаче №1

Задача № 2. Горизонтальная поверхность линейно деформируемого полупространства нагружена равномерно распределенной вертикальной нагрузкой интенсивностью P_1 и P_2 , распределенной по прямоугольным площадкам с размерами в плане $a_1 \times b_1$ и $a_2 \times b_2$. Определить величины вертикальных составляющих напряжений σ_z от совместного действия внешних нагрузок в точках полупространства для заданной вертикали, проходящей через одну из точек M_1 , M_2 , M_3 на площадке № I. Расстояние между осями площадок нагружения - L . Точки по вертикали расположить от поверхности на расстояниях 1, 2, 4 и 6 м. По вычисленным напряжениям построить эпюру распределения σ_z . Исходные данные приведены в табл. 2. Схема к расчету представлена на рис. 2.

Таблица 2

Исходные данные к задаче № 2

Номер варианта	a_1 , м	b_1 , м	a_2 , м	b_2 , м	P_1 , кПа	P_2 , кПа	L , м	Расчетная вертикаль
0	2,5	1,9	3,3	2,3	210	310	2,8	M_1
1	3,3	2,3	4,0	2,4	240	350	3,3	M_2
2	2,9	2,6	3,5	2,5	320	290	3,5	M_3
3	2,6	2,1	5,0	2,4	340	380	3,0	M_2
4	2,5	1,9	6,0	2,8	290	330	2,8	M_3
5	2,2	2,2	3,0	2,4	260	360	3,0	M_2
6	1,9	1,9	2,9	2,6	280	320	3,2	M_1
7	2,5	2,1	4,0	2,4	310	410	3,4	M_2
8	2,7	1,9	3,5	2,5	320	340	3,2	M_3
9	5,0	2,4	6,0	2,4	380	320	4,0	M_1

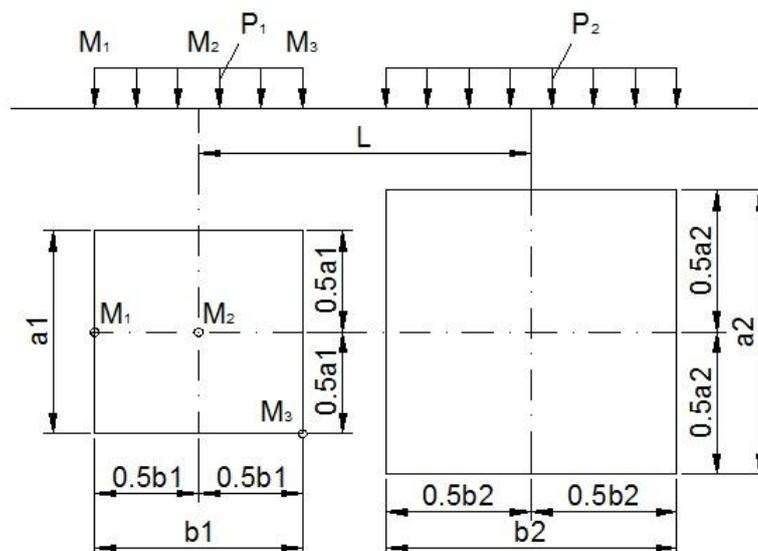


Рис. 2. Расчетная схема к задаче №2

Задача №3. Ленточный фундамент шириной b имеет глубину заложения от поверхности природного рельефа d и среднее давление по подошве p . Определить методом послойного суммирования величину полной стабилизированной осадки грунтов основания. С поверхности залегает песчаный грунт (толщина слоя h_1 , удельный вес грунта γ_1 , удельный вес частиц грунта γ_{s1} , природная влажность W_1 , модуль общей деформации E_1), подстилаемый водонепроницаемой глиной (h_2, γ_2, E_2). Уровень грунтовых вод расположен в слое песчаного грунта на расстоянии h_b от уровня подстилающего слоя. Исходные данные приведены в табл. 3. Схема к расчету представлена на рис. 3.

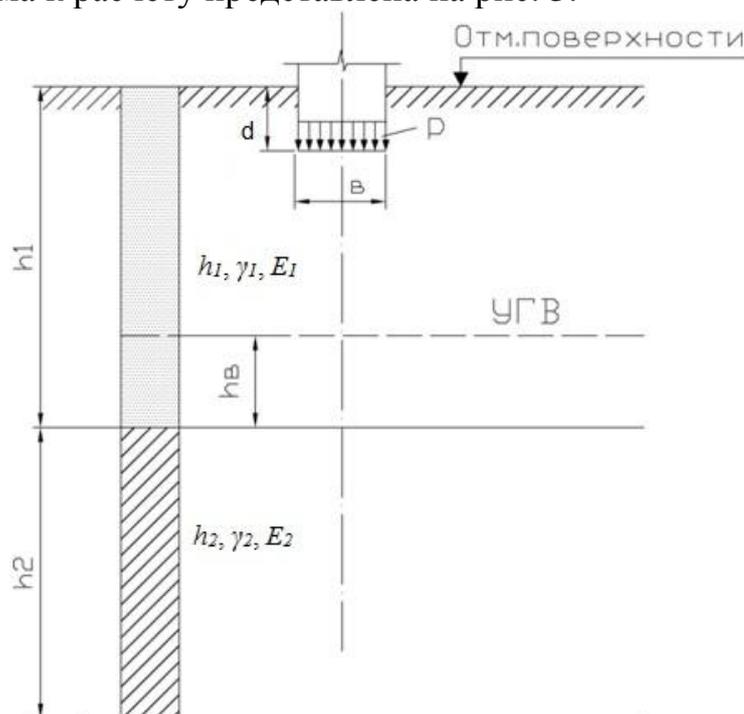


Рис. 3. Расчётная схема к задаче №3.

Таблица 3

Исходные данные к задаче № 3

Номер варианта	b , м	d , м	P , кПа	h_1 , м	γ_1 , кН/м ³	γ_{s1} , кН/м ³	W_1 , %	E_1 , МПа	h_2 , м	γ_2 , кН/м ³	E_2 , МПа	h_b , м
1	2,4	1,3	380	3,2	19,8	26,5	12	24	7,6	20,1	28	1,6
2	1,2	1,5	180	2,8	18,9	26,6	10	17	3,6	19,5	18	1,2
3	2,8	1,4	360	3,6	20,5	26,5	18	15	7,5	19,2	38	1,1
4	1,6	1,6	280	3,5	20,9	26,6	14	13	3,7	20,2	31	2,2
5	1,4	1,2	260	3,1	19,9	26,7	11	16	4,2	18,9	32	1,5
6	2,0	1,6	320	4,6	20,2	26,6	13	18	4,4	19,7	23	2,9
7	3,2	1,2	410	5,2	20,9	26,7	5	28	8,2	20,6	42	2,3
8	2,4	1,5	310	3,9	20,1	26,5	12	21	6,9	19,1	29	1,7
9	1,6	1,3	220	4,3	19,4	26,5	10	19	3,9	20,8	20	2,4
0	2,0	1,7	270	4,1	19,6	26,6	11	13	4,8	19,9	24	1,8

Задача №4. Требуется определить развитие осадки во времени для отдельностоящего жесткого фундамента размером в плане $b \times l$ и построить график стабилизации осадки вида $S = f(t)$.

Исходные данные: глубина заложения фундамента d , среднее давление по подошве p . Грунты основания представлены однородным водонасыщенным слоем суглинка со следующими характеристиками: удельный вес грунта ниже подошвы γ_{II} ; удельный вес грунта выше подошвы γ'_{II} ; коэффициент относительной сжимаемости грунта m_v ; коэффициент фильтрации грунта k_f ; коэффициент Пуассона ν . Для всех вариантов заданий можно принять $\nu = 0,3$.

Варианты заданий приведены в табл. 4.

Таблица 4

Исходные данные к задаче № 4

Номер варианта	Размеры фундамента $b \times l$, м	Глубина заложения d , м	Среднее давление p , кПа	Характеристики грунтов			
				γ_{II} , кН/м ³	γ'_{II} , кН/м ³	m_v , кПа ⁻¹	k_f , см/с
0	1,2x1,8	1,0	200	16	16	0,00025	$1,2 \cdot 10^{-8}$
1	1,4x2,0	1,2	210	18,5	18	0,00011	$1,5 \cdot 10^{-8}$
2	1,6x2,2	1,4	220	18,6	18,2	0,00012	$1,7 \cdot 10^{-8}$
3	1,8x2,4	1,6	230	18,5	18,6	0,00013	$2,4 \cdot 10^{-8}$
4	2,0x2,6	1,8	240	19,0	18,2	0,00014	$1,8 \cdot 10^{-8}$
5	2,2x2,8	2,0	250	19,5	18,5	0,00015	$2,5 \cdot 10^{-8}$
6	2,4x3,0	2,2	260	20,0	19,2	0,00016	$1,9 \cdot 10^{-8}$
7	2,2x2,8	2,4	270	19,8	19,0	0,00017	$2,6 \cdot 10^{-8}$
8	2,0x2,4	2,6	280	19,5	18,0	0,00018	$2,0 \cdot 10^{-8}$
9	1,8x2,2	2,8	300	20,5	19,8	0,00020	$2,1 \cdot 10^{-8}$

Задача № 5. Построить кривую равноустойчивого откоса с заданным коэффициентом устойчивости.

Исходные данные: коэффициент устойчивости - γ_{st} ; удельный вес, угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта, из которого сложен откос, - γ , ϕ и c .

Варианты заданий приведены в табл. 5.

Таблица 5

Исходные данные к задаче № 5

Номер варианта	Коэффициент устойчивости γ_{st}	Характеристики грунтов		
		γ_n , кН/м ³	ϕ_n , град	c_n , кПа
1	1,25	17	23	12
2	1,3	20	31	4
3	1,4	19	27	22

4	1,5	18	36	2
5	1,2	17,6	21	24
6	1,15	20,5	25	21
7	1,6	19,2	28	15
8	1,35	18,4	22	28
9	1,45	16,8	23	25
0	1,1	17,2	25	37

Задача № 6. Оценить устойчивость на опрокидывание подпорной стенки, ограждающей выемку в грунте (рис. 5). За подпорной стенкой залегают грунты ненарушенной структуры. На поверхности грунта имеется пригрузка интенсивностью q . Высота стенки H , глубина заделки в грунт h_0 . Подпорная стенка выполнена из монолитного бетона, толщина стенки b . Удельный вес бетона $\gamma_b = 24 \text{ кН/м}^3$.

Схема к расчету представлена на рис. 5. Исходные данные приведены в табл. 6.

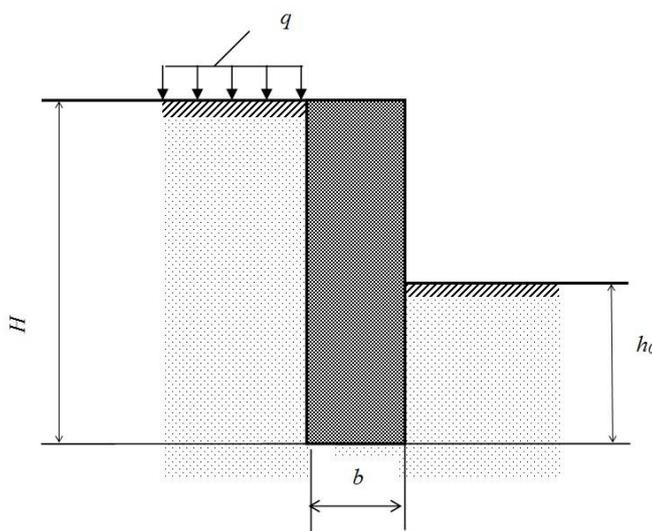


Рис. 5. Расчетная схема подпорной стенки к задаче 6

Таблица 6

Исходные данные к задаче №6

Номер варианта	Высота стенки $H, \text{ м}$	Глубина заделки $h_0, \text{ м}$	Толщина стенки $b, \text{ м}$	Пригрузка $q, \text{ кПа}$	Удельный вес грунта $\gamma_b, \text{ кН/м}^3$	Угол внутреннего трения $\varphi_b, \text{ град}$	Удельное сцепление $c_b, \text{ кПа}$
0	4,5	1,5	0,7	10	17,5	22	24
1	4,0	1,0	0,8	18	18,7	28	2
2	5,0	1,2	0,8	15	18,5	30	1

3	6,0	1,5	1,0	12	19,0	16	24
4	7,0	1,8	1,2	12	19,8	18	17
5	8,0	2,0	1,5	10	19,4	11	36
6	4,5	1,3	0,8	15	18,5	26	4
7	5,5	1,5	0,8	12	19,8	22	20
8	6,5	1,7	1,2	10	20,0	18	20
9	7,5	1,9	1,5	8	18,7	18	2

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Задача №1.

Если к горизонтальной поверхности линейно деформируемого полупространства приложена вертикальная сосредоточенная сила N , вертикальные напряжения в любой точке полупространства могут быть определены по формуле Буссинеска

$$\sigma_z = K \frac{N}{z^2}, \quad (1)$$

где N - вертикальная сила; z - координата точки, в которой рассчитываются напряжения; K – безразмерный коэффициент, величина которого зависит от отношения координат r/z .

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

$$\sigma_{zi} = \frac{1}{Z_i^2} (K_1 P_1 + K_2 P_2 + K_3 P_3 + \dots + K_n P_n) = \frac{1}{Z_i^2} \sum_{i=1}^n K_i P_i, \quad (2)$$

где K_i - коэффициент, являющийся функцией отношения $\frac{r_i}{Z_i}$;

r_i - расстояние по горизонтали 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 (K_i) приведены в табл. П1 Приложения данных указаний, а также в [3, табл. 3.1]; [5, табл. 5.1]; [17, табл. 5.1].

При построении расчетной схемы и эпюр напряжений следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 50 кПа в 1 см. Пример расчета приведен в [4].

Задача №2.

Вертикальные составляющие напряжений σ_z в любой точке линейно деформируемого полупространства от действия равномерно распределенной на-

грузки в пределах или за пределами прямоугольных площадок нагружения могут быть определены методом угловых точек по формуле:

Для площадок **под центром нагруженного** прямоугольника:

$$\sigma_{z_0} = \alpha \cdot P, \quad (3)$$

где α – коэффициент, определяемый в зависимости от отношения сторон прямоугольной площади нагружения $\frac{l}{b}$ (l – длинная ее сторона, b – ее ширина) и отношения $\zeta = \frac{2z}{b}$ (z – глубина, на которой определяется напряжение σ_{z_0}),

P – интенсивность равномерно распределенной нагрузки.

Для площадок **под углом нагруженного** прямоугольника:

$$\sigma_{z_c} = \frac{\alpha \cdot P}{4}, \quad (4)$$

где α – коэффициент, определяемый в зависимости от соотношения сторон прямоугольной площади нагружения $\eta = \frac{l}{b}$ (l – длинная ее сторона, b – ее ширина) и отношения $\zeta = \frac{z}{b}$ (z – глубина, на которой определяется напряжение σ_{z_c}),

P – интенсивность равномерно распределенной нагрузки.

В соответствии с этим заданные площадки 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 $l_i \geq b_i$ с помощью таблиц определяют значения коэффициента α и, пользуясь принципом независимости действия сил, находят алгебраическим суммированием напряжения в заданных точках массива грунта.

Рассмотрим **площадку №1**. Точка M_1 лежит в середине одной из сторон нагруженного прямоугольника, точка M_2 является для него осевой, а точка M_3 – угловой.

Для определения величины вертикальных составляющих напряжений в точке M_1 от нагрузки P_1 разделим площадку нагружения на две составляющие таким образом, чтобы точка M_1 являлась углом длинной стороны прямоугольников. Получатся два зеркально отраженных прямоугольника со сторонами: $l' = b_1$, $b' = a_1/2$. Напряжения в точке M_1 определяются по формуле

$$\sigma'_{z_{M_1}} = \frac{2\alpha \cdot P_1}{4}, \quad (5)$$

а коэффициент α можно найти по таблицам в зависимости от $\eta = \frac{l'}{b'}$ и $\zeta = \frac{z_i}{b'}$, где z_i – глубина, на которой рассчитываем напряжения.

Для определения величины вертикальных составляющих напряжений в точке M_2 , находящейся под центром прямоугольника, применяем формулы для осевых точек:

$$\sigma'_{z_{M_2}} = \alpha \cdot P_1, \quad (6)$$

где коэффициент α найдем в зависимости от $\eta = \frac{a_1}{b_1}$ и $\zeta = \frac{2z_i}{b_1}$.

Так как точка M_3 является угловой, вертикальные напряжения в ней определяются по формуле

$$\sigma'_{z_{M_3}} = \frac{\alpha \cdot P_1}{4}, \quad (7)$$

где коэффициент α найдем в зависимости от $\eta = \frac{a_1}{b_1}$ и $\zeta = \frac{z_i}{b_1}$.

Теперь рассмотрим *площадку №2*.

Поскольку точки M находятся вне нагруженного прямоугольника, величина σ_z складывается из суммы напряжений от действия нагрузки по фиктивным прямоугольникам, для которых точка является угловой. При этом напряжения от действия нагрузок по прямоугольникам, лежащим вне площади нагрузки принимаются со знаком «минус», т.е.

$$\sigma_z'' = \left(\sum \alpha_{нагр} - \sum \alpha_{не\ нагр} \right) \cdot P / 4. \quad (8)$$

Для определения величины вертикальных составляющих напряжений в точке M_1 от нагрузки P_2 продлим площадку нагружения №2 до точки M_1 и разделим получившийся прямоугольник на две составляющие таким образом, чтобы точка M_1 являлась углом длинной стороны прямоугольников (рис.6 а). Получатся два зеркально отраженных прямоугольника B_2EM_1F и FM_1KC_2 со сторонами: $l_1'' = 0,5b_1 + L + 0,5b_2$, $b_1'' = 0,5a_2$, и два прямоугольника A_2EM_1G и GM_1KD_2 со сторонами $l_2'' = 0,5b_1 + L - 0,5b_2$, $b_2'' = 0,5a_2$, на которых в действительности нет нагрузки.

Тогда напряжения в точке M_1 от нагрузки P_2 определим по формуле

$$\sigma''_{z_{M_1}} = \frac{1}{4} (2\alpha_1 - 2\alpha_2) \cdot P_2, \quad (9)$$

где коэффициент α_1 зависит от $\eta_1 = \frac{l_1''}{b_1''}$ и $\zeta_1 = \frac{z_i}{b_1''}$, а коэффициент α_2 - от $\eta_2 = \frac{l_2''}{b_2''}$ и

$$\zeta_2 = \frac{z_i}{b_2''}.$$

Для определения величины вертикальных напряжений в точке M_2 от нагрузки P_2 продлим площадку нагружения №2 до точки M_2 и разделим получившийся прямоугольник на две составляющие таким образом, чтобы точка M_2 являлась углом длинной стороны прямоугольников (рис.6 б). Получатся два зеркально отраженных прямоугольника B_2EM_2F и FM_2KC_2 со сторонами: $l_1'' = L + 0,5b_2$, $b_1'' = 0,5a_2$, и два прямоугольника A_2EM_2G и GM_2KD_2 со сторонами $l_2'' = L - 0,5b_2$ и $b_2'' = 0,5a_2$, на которых в действительности нет нагрузки.

Напряжения в точке M_2 от нагрузки P_2 определим аналогично случаю с точкой M_1 .

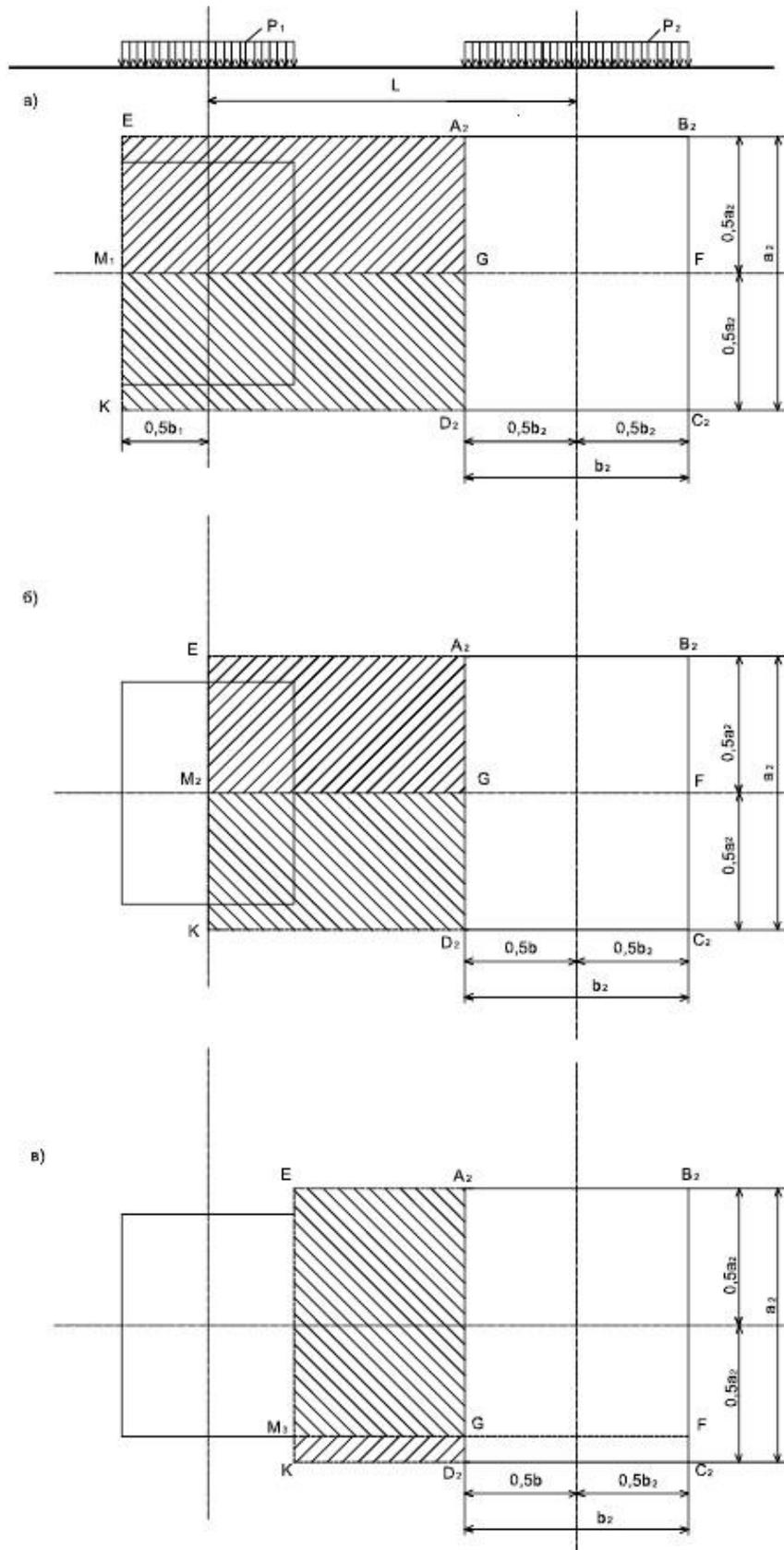


Рис. 6. Схема разбивки на прямоугольники при определении напряжений методом угловых точек

Для определения величины вертикальных напряжений в точке M_3 от нагрузки P_2 также продлим площадку нагружения №2 до точки M_3 и разделим получившийся прямоугольник на составляющие таким образом, чтобы точка M_3 являлась для них угловой (рис.6 в). Получатся четыре прямоугольника, причем верхний (1) B_2EM_3F со сторонами: $l_1'' = L + 0,5b_2 - 0,5b_1$ $b_1'' = 0,5a_2 + 0,5a_1$, нижний (2) FM_3KC_2 – $l_2'' = L + 0,5b_2 - 0,5b_1$ $b_2'' = 0,5a_2 - 0,5a_1$, а также фиктивные (ненагруженные): верхний (3) A_2EM_3G со сторонами $l_3'' = L - 0,5b_2 - 0,5b_1$ и $b_3'' = 0,5a_2 + 0,5a_1$ и нижний (4) GM_3KD_2 – $l_4'' = L - 0,5b_2 - 0,5b_1$ и $b_4'' = 0,5a_2 - 0,5a_1$.

Напряжения в точке M_3 от нагрузки P_2 определяются по формуле

$$\sigma''_{ZM3} = \frac{1}{4}(\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4) \cdot P_2, \quad (10)$$

где коэффициенты $\alpha_1 \dots \alpha_4$ зависят от соотношения сторон получившихся прямоугольников и относительных глубин.

Пользуясь принципом независимости действия сил, находим алгебраическим суммированием напряжения в заданных точках массива грунта от действия нагрузок P_1 и P_2 :

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ZM1} &= \sigma'_{ZM1} + \sigma''_{ZM1} \\ \sigma_{ZM2} &= \sigma'_{ZM2} + \sigma''_{ZM2} \\ \sigma_{ZM3} &= \sigma'_{ZM3} + \sigma''_{ZM3} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Значения коэффициента α приведены в табл. П2 Приложения данных указаний, а также в [1, табл. 6.2]; [3, табл. 3.4]; [5, табл. 5.2]; [7, табл. 5.4]; [8, табл. 5.8].

Масштаб расстояния 1:50, масштаб напряжений 50 кПа в 1 см. Примеры расчета приведены в [3]; [4]; [7].

Задача № 3. Величину полной стабилизированной осадки S методом послойного суммирования определяют как сумму осадок элементарных слоев грунта по формуле

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i}{E_i}, \quad (12)$$

где β - безразмерный коэффициент, равный 0,8;

$\sigma_{zp,i}$ - среднее значение дополнительного вертикального нормального напряжения в i -м слое грунта, равное полу-сумме указанных напряжений на верхней z_{i-1} и нижней z_i границах слоя по вертикали, проходящей через середину полосы нагружения;

h_i, E_i - соответственно толщина и модуль деформации i -го слоя грунта;

n - число элементарных слоев грунта, на которое разбита сжимаемая толща основания.

Дополнительные вертикальные напряжения σ_{zp} определяются по формуле

$$\sigma_{zp} = \alpha P_0, \quad (13)$$

где α - коэффициент, принимаемый в зависимости от относительной глубины, равной $\xi = \frac{2Z}{b}$, и соотношения сторон прямоугольной площади нагружения $\eta = \frac{l}{b}$ (l – длинная ее сторона, b – ее ширина). Для ленточного фундамента принимается $\eta \geq 10$;

P_o - дополнительное вертикальное давление на основание;

$$P_o = P - \sigma_{zg,0}, \quad (14)$$

P - давление под подошвой фундамента; $\sigma_{zg,0}$ - природное давление на уровне подошвы фундамента.

Давление $\sigma_{zg,0}$ определяется по формуле

$$\sigma_{zg,0} = \gamma' d_n, \quad (15)$$

где γ' – удельный вес грунта выше подошвы фундамента; d_n – глубина заложения подошвы фундамента от уровня природного рельефа.

Напряжение от собственного веса грунта (природное давление) определяется суммированием давления от каждого слоя грунта:

$$\sigma_{zg} = \sigma_{zg,0} + \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i, \quad (16)$$

где γ_i – удельный вес грунта i -го слоя; h_i – толщина i -го слоя; n – количество слоев.

Удельный вес грунтов, залегающих ниже уровня подземных вод, должен приниматься с учетом взвешивающего действия воды. Если грунт испытывает взвешивающее действие воды, удельный вес его определяется по формуле

$$\gamma_{sb} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}, \quad (17)$$

где γ_s - удельный вес твердых частиц грунта; γ_w - удельный вес воды; e - коэффициент пористости грунта.

Актуализированная редакция СНиП 2.02.01 – 83* [8] рекомендует определять осадку оснований с использованием расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства методом послойного суммирования с учетом веса грунта, вынутого из котлована.

Осадку определяется по формуле

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i}) h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{z\gamma,i} h_i}{E_{e,i}}, \quad (18)$$

где β , $\sigma_{zp,i}$, h_i , E_i , n - как в формуле (12); $\sigma_{z\gamma,i}$ – среднее значение вертикального напряжения в i -м слое грунта от собственного веса выбранного при отрывке котлована грунта; $E_{e,i}$ - модуль деформации i -го слоя грунта, принимаемый по ветви вторичного нагружения.

При отсутствии опытных определений модуля деформации $E_{e,i}$ можно принять $E_{e,i} = 5E_i$.

При расчете осадки фундаментов, возводимых в котлованах глубиной ме-

нее 5 м, как в случае рассматриваемой задачи, допускается в формуле (18) не учитывать второе слагаемое. В этом случае формула (18) становится аналогичной формуле (12).

Суммирование осадок отдельных слоев производится в пределах сжимаемой толщи, нижняя граница которой, согласно [8], принимается на глубине $z = H_c$, где выполняется условие $\sigma_{zp} = 0,5\sigma_{zg}$. При этом глубина сжимаемой толщи не должна быть меньше $H_{min} = b/2$ при $b \leq 10$ м, $H_{min} = (4 + 0,1b)$ при $10 \leq b \leq 60$ м и $H_{min} = 10$ м при $b > 60$ м.

Если в пределах глубины H_c , найденной по указанным выше условиям, залегает слой грунта с модулем деформации $E > 100$ МПа, сжимаемую толщину принимают до кровли этого грунта.

Если нижняя граница сжимаемой толщи находится в слое грунта с модулем деформации $E \leq 7$ МПа или такой слой залегает непосредственно ниже глубины $z = H_c$, то этот слой включают в сжимаемую толщину, а за H_c принимают минимальное из значений, соответствующих подошве слоя или глубине, где выполняется условие $\sigma_{zp} = 0,2\sigma_{zg}$.

Значения коэффициента α приведены в табл. П2 Приложения данных указаний, а также в [1, табл. 6.2]; [3, табл. 3.4]; [5, табл. 5.2]; [7, табл. 5.4]; [8, табл. 5.8].

При построении расчетной схемы следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 50 кПа в 1 см. Примеры расчета приведены в [3]; [4]; [6]; [7].

Задача №4.

Расчет и прогноз скорости протекания осадок во времени для полностью водонасыщенных грунтов возможен с помощью теории фильтрационной консолидации. Согласно этой теории величину осадки фундамента на слабых водонасыщенных грунтах в любой промежуток времени можно определить по выражению

$$S_t = S \cdot U, \quad (19)$$

где S_t – осадка за данное время; S – конечная (полная) стабилизированная осадка, величину которой рекомендуется вычислять с использованием метода эквивалентного слоя грунта (по Н. А. Цытовичу);

$U = S_t / S$ – степень консолидации (уплотнения) грунта;

$$U = 1 - (8 / \pi^2) (e^{-N} + 1 / 9 \cdot e^{-9N} + 1 / 25 \cdot e^{-25N} + \dots). \quad (20)$$

С учетом степени консолидации U осадка слоя грунта в момент времени t определяется по выражению

$$S_t = h \rho t_v [1 - (8 / \pi^2) (e^{-N} + 1 / 9 \cdot e^{-9N} + \dots)]. \quad (21)$$

В формулах (20) и (21) показатель степени N при основании натуральных логарифмов e носит название фактора времени. Для случая равномерного уплотнения слоя грунта его значение определяется выражением

$$N = \pi^2 c_v t / (4h^2), \quad (22)$$

где $c_v = k_f / (m_v \gamma_w)$ – коэффициент консолидации грунта; k_f – коэффициент фильтрации грунта; h – толщина уплотняемого слоя; m_v – коэффициент относительной сжимаемости; γ_w – удельный вес воды.

Для облегчения расчета осадок S_t разработаны таблицы, связывающие U и N . Задавшись последовательно значениями степени консолидации Q (с шагом по $0,1U$), из таблицы выбирают соответствующее значение N , для которого из формулы (22) определяют время t . Величина осадки S_t , соответствующая этому времени, вычисляется из выражения (19).

В практике встречаются следующие случаи нагружения и развития эпюры уплотняющих напряжений в основании (рис.7). Случай «0» соответствует одномерной задаче уплотнения при сплошной нагрузке, случай «1» характерен для осадок во времени грунта, уплотняющегося под действием собственного веса, случай «2» отвечает осадкам во времени фундаментов конечных размеров. Ниже приведены значения N и U для всех рассмотренных случаев (табл. 7).

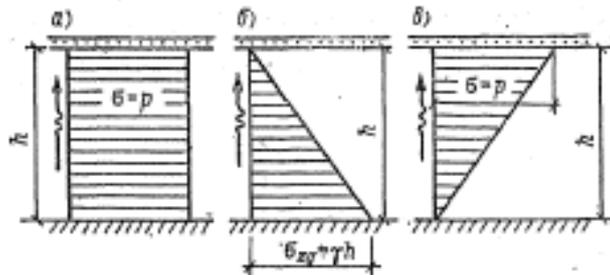


Рис.7. Схемы нагружения и развития эпюры уплотняющих давлений:
а – случай «0»; б – случай «1»; в – случай «2»

Таблица 7

Значения N в зависимости от U

U	N для случая			U	N для случая		
	0	1	2		0	1	2
0,1	0,02	0,12	0,005	0,6	0,71	0,95	0,42
0,2	0,08	0,25	0,02	0,7	1,00	1,24	0,69
0,3	0,17	0,39	0,06	0,8	1,40	1,64	1,08
0,4	0,31	0,55	0,13	0,9	2,09	2,35	1,77
0,5	0,49	0,73	0,24	0,95	2,80	3,17	2,54

Используя формулы (19)...(22) и таблицу (7), можно вычислить величину осадки фундамента S_t для любого времени t после его нагружения или для любого значения степени консолидации грунтов U .

Вычисление величины осадки фундамента S_t при заданных значениях степени консолидации грунта U произведем в следующей последовательности:

1. Определим конечную стабилизированную осадку фундамента методом эквивалентного слоя грунта по формуле

$$S = h_e \cdot m_v \cdot p_o \quad (23)$$

Дополнительное давление на уровне подошвы фундамента:

$$p_o = p - \gamma'_{II} \cdot d.$$

Толщина эквивалентного слоя h_e определяется из выражения

$$h_e = A\omega_c \cdot b \quad (24)$$

Величину $A\omega_c$ определим в зависимости от η и ν по табл. ПЗ Приложения данных указаний.

2. Так как в задаче требуется определить осадку фундамента, расчет развития осадки во времени производим для случая «2». Вычисляем величину коэффициента консолидации грунтов основания c_v :

$$c_v = k_f / (m_v \cdot \gamma_w)$$

3. Для определения значения t вначале определим сжимаемую толщю грунта основания фундамента по формуле

$$h = H = 2h_e,$$

а затем найдем связь между t и N :

$$t = (4h^2 / \pi^2 c_v) \cdot N$$

4. Вычисляем величину осадки фундамента S_t и времени t для различных значений степени консолидации U по формуле (19). Значения N принимаем по табл. 7.

График развития осадки фундамента во времени приведен на рис. 8.

При решении задачи необходимо следить за размерностями величин, участвующих в формулах. Значение коэффициента фильтрации задано в см/с и может быть представлено в других единицах следующим образом:

$$k_f = 1 \text{ см/с} = 1 \cdot 3 \cdot 10^7 \text{ см/год} = 1 \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ м/год}.$$

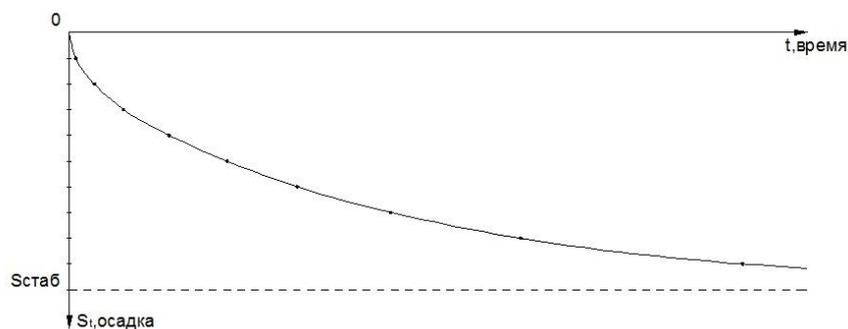


Рис. 8. График изменения осадки фундамента во времени

При построении графика следует принимать масштаб времени 5 мес. в 1 см, масштаб осадок 1:1. Пример расчета приведен в [6].

Задача №5.

Равноустойчивым называется такой откос криволинейного очертания, при котором ограниченный им массив грунта находится в состоянии предельного равновесия.

Координаты точек откоса можно найти по формуле

$$z = m(1,57 - e^{-n}) + xt g \varphi, \quad (25)$$

где

$$m = \frac{2c(1+\sin\varphi)}{\gamma(1-\sin\varphi)}; \quad n = \frac{x}{m}; \quad (26)$$

φ - угол внутреннего трения; c - удельное сцепление; γ - удельный вес грунта (расчетные значения).

На верхней поверхности откоса может быть внешняя нагрузка

$$q = \frac{2c \cdot \cos\varphi}{1 - \sin\varphi}. \quad (27)$$

Если на поверхности откоса нет нагрузки, то верхняя часть его может быть вертикальной на высоту h_c , определяемую по формуле

$$h_c = \frac{q}{\gamma} = \frac{2c \cdot \cos\varphi}{\gamma(1 - \sin\varphi)}. \quad (28)$$

Так как грунт в равноустойчивом откосе находится в предельном напряженном состоянии, то, чтобы запроектировать откос с необходимым запасом устойчивости, коэффициент устойчивости используют для уменьшения значений прочностных характеристик грунта.

Расчетные значения прочностных характеристик грунта вычисляем с использованием заданного значения коэффициента устойчивости:

$$\varphi_p = \frac{\varphi}{\gamma_{st}}; \quad c_p = \frac{c}{\gamma_{st}}.$$

Вычислив коэффициент m , находим координаты z кривой равноустойчивого откоса в табличной форме по формуле (25) при разных значениях x .

Так как на поверхности откоса нет нагрузки, определим высоту вертикальной части откоса h_c . По полученным значениям координат построим кривую равноустойчивого откоса. Высоту h_c откладываем над осью X .

Вид кривой равноустойчивого откоса представлен на рис. 9.

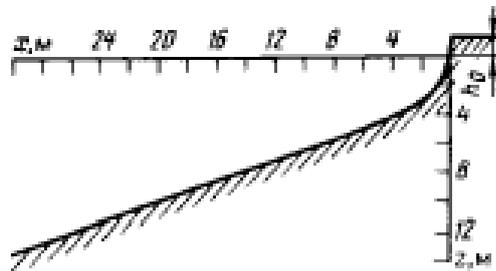


Рис. 9. Вид кривой равноустойчивого откоса

При построении графика следует принимать масштаб расстояний 1:100 или 1:200. Пример расчет приведен в [4].

Задача №6. Интенсивность распределения активного давления за подпорной стенкой с учетом пригрузки можно вычислить по формуле

$$\sigma_{az} = \gamma_1 \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2}\right) + q \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2}\right) - 2 \cdot c_1 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2}\right), \quad (29)$$

которую можно представить в виде

$$\sigma_{az} = \sigma_{a\varphi} + \sigma_{aq} - \sigma_{ac}. \quad (30)$$

Здесь γ_1 - удельный вес грунта; c_1 и φ_1 - расчетные значения прочностных характеристик грунта; q - нагрузка на поверхности грунта.

Для построения эпюры активного давления на подпорную стенку достаточно определить величину интенсивности активного давления на поверхности грунта и у подошвы подпорной стенки.

Таким образом, на поверхности грунта при $z = 0$ получим

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{a\varphi} &= 0 \\ \sigma_{aq} &= q \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2}\right), \\ \sigma_{ac} &= 2 \cdot c_1 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2}\right). \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

У подошвы подпорной стенки при $z = H$ получим

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{a\varphi} &= \gamma_1 \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2}\right), \\ \sigma_{aq} &= q \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2}\right), \\ \sigma_{ac} &= 2 \cdot c_1 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2}\right). \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

Если при $z = 0$ получим $\sigma_{aq} - \sigma_{ac} > 0$, то эпюра активного давления будет иметь вид трапеции; если $\sigma_{aq} - \sigma_{ac} = 0$, то эпюра активного давления будет иметь вид треугольника высотой H ; если $\sigma_{aq} - \sigma_{ac} < 0$, то эпюра давления будет иметь вид двух треугольников с разными знаками (рис.9).

Наличие треугольника высотой h_c с отрицательными значениями давления свидетельствует, что связный грунт за счет сил сцепления может удерживать вертикальный откос указанной высоты и до глубины h_c не оказывает давления на подпорную стенку. В этом случае эпюра активного давления на стенку имеет вид треугольника высотой $(H - h_c)$.

Равнодействующая активного давления грунта на подпорную стенку равна площади полученной эпюры давления и приложена в центре тяжести соответствующей фигуры:

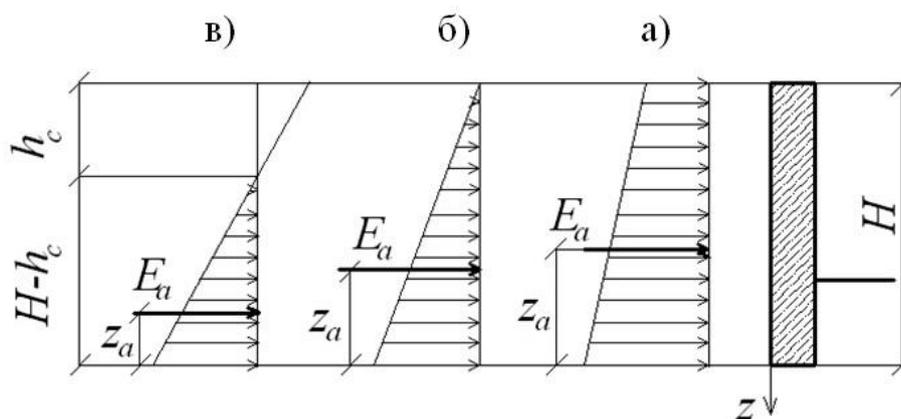


Рис.10. Вид эпюр активного давления на подпорную стенку:

а) при $\sigma_{aq} - \sigma_{ac} > 0$; б) при $\sigma_{aq} - \sigma_{ac} = 0$; в) при $\sigma_{aq} - \sigma_{ac} < 0$.

$$\left. \begin{aligned}
 \text{а) } E_a &= E_{a1} + E_{a2} = (\sigma_{aq} - \sigma_{ac}) \cdot H + [\sigma_a - (\sigma_{aq} - \sigma_{ac})] \cdot \frac{H}{2} \\
 \text{б) } E_a &= \sigma_a \cdot \frac{H}{2} \\
 \text{в) } E_a &= \sigma_a \cdot \frac{H - h_c}{2}
 \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

Здесь σ_a – максимальная ордината эпюры активного давления грунта, h_c – высота вертикального откоса, который удерживает связный грунт за счет сил сцепления.

В случае (а) для удобства вычисления площади эпюры и определения положения её равнодействующей трапеция может быть разделена на две простые фигуры: прямоугольник и треугольник. Для каждой такой фигуры легко может быть определена площадь и положение центра тяжести, а равнодействующая активного давления грунта будет равна сумме полученных площадей.

При отсутствии нагрузки на поверхности грунта засыпки высота h_c в случае (в) может быть определена по формуле

$$h_c = \frac{2c}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}. \quad (34)$$

Если на поверхности грунта засыпки имеется нагрузка интенсивностью q , высота h_c может быть вычислена из подобия треугольников или по формуле

$$h_c = \frac{2c}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} - \frac{q}{\gamma}. \quad (35)$$

Пассивное давление грунта на подпорную стенку вычисляется по формуле

$$\sigma_{pz} = \gamma_1 \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2}\right) + 2 \cdot c_1 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2}\right), \quad (36)$$

которую можно представить в виде

$$\sigma_{pz} = \sigma_{p\phi} + \sigma_{pc}. \quad (37)$$

Для построения эпюры пассивного давления достаточно вычислить пассивное давление грунта в двух точках $z = 0$ и $z = h_0$. Таким образом, при $z = 0$ получим

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{p\phi} &= 0 \\ \sigma_{pc} &= 2 \cdot c_1 \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

при $z = h_0$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{p\phi} &= \gamma_1 \cdot h_0 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right), \\ \sigma_{pc} &= 2 \cdot c_1 \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

Равнодействующая пассивного давления грунта на подпорную стенку также равна площади полученной эпюры давления и в случае трапециoidalной эпюры может быть представлена в виде суммы площадей прямоугольника и треугольника.

Равнодействующая пассивного давления также располагается в центре тяжести соответствующей эпюры.

Для проверки устойчивости подпорной стенки на опрокидывание относительно точки O на её передней грани необходимо определить коэффициент устойчивости

$$\gamma_{st} = \frac{M_{ou}}{M_{onp}}, \quad (40)$$

где M_{ou} – момент удерживающих сил; M_{onp} – момент опрокидывающих сил.

Расчетная схема к определению коэффициента устойчивости представлена на рис. 10.

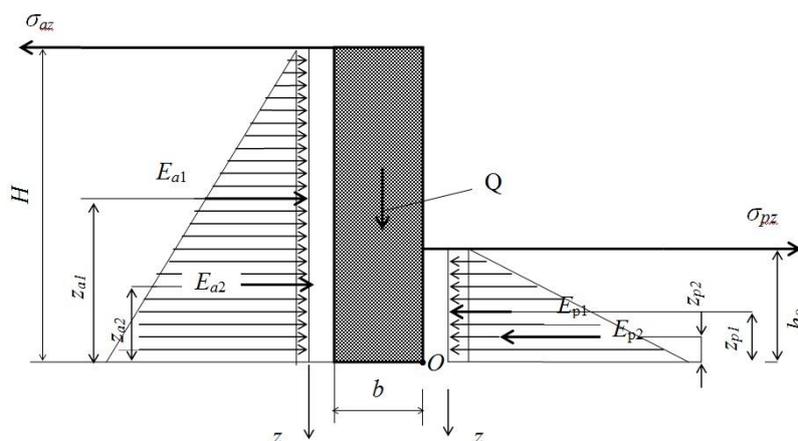


Рис. 11. Расчетная схема к определению коэффициента устойчивости

E_{a1} - равнодействующая прямоугольной части эпюры активного давления;
 E_{p1} - то же эпюры пассивного давления; E_{a2} - равнодействующая
треугольной части эпюры активного давления; E_{p2} - то же эпюры
пассивного давления

Опрокидывать стенку относительно точки O будет момент от равнодействующей активного давления, а удерживать стенку от опрокидывания будут моменты равнодействующей пассивного давления и собственного веса стенки.

Собственный вес подпорной стенки можно определить по формуле

$$G = \gamma_b \cdot b \cdot H \cdot l, \quad (41)$$

где γ_b – удельный вес бетона ($\gamma_b = 24$ кН/м³); b – толщина стенки; H – высота стенки; l – длина отрезка стенки 1 м.

Таким образом, опрокидывающий момент равен

$$M_{опр} = E_a \cdot z_a; \quad (42)$$

удерживающий момент равен

$$M_{ои} = E_p \cdot z_p + G \cdot b/2. \quad (43)$$

Стенка будет устойчива против опрокидывания относительно передней грани, если коэффициент устойчивости будет иметь значение больше 1,1.

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

Примеры расчета приведены в [3]; [6]; [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам при выполнении самостоятельной работы по курсу Механики грунтов. В них приведены исходные данные для самостоятельной работы, даны ссылки на литературные источники, необходимые для решения задач, а также даны методические указания к выполнению заданий.

Самостоятельное решение задач позволит студентам закрепить материал, с которым они познакомятся в ходе изучения дисциплины, а также получить навыки расчетов напряжений и деформаций в грунтах.

ПРИЛОЖЕНИЕ
ТАБЛИЦЫ ЗНАЧЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ВЕЛИЧИН
К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Таблица П1

Значения коэффициента K

r/z	K	r/z	K	r/z	K
0.00	0.4775	0.90	0.1083	2.30	0.0048
0.05	0.4746	1.00	0.0844	2.40	0.0040
0.10	0.4657	1.10	0.0658	2.50	0.0034
0.16	0.4482	1.20	0.0513	2.60	0.0029
0.20	0.4329	1.40	0.0317	2.80	0.0021
0.30	0.3849	1.50	0.0251	3.10	0.0013
0.40	0.3294	1.60	0.0200	3.30	0.0090
0.50	0.2733	1.70	0.0160	3.50	0.0007
0.60	0.2214	1.90	0.0105	4.00	0.0004
0.70	0.1762	2.00	0.0085	4.50	0.0002
0.80	0.1386	2.10	0.0070	5.00	0.0001

Таблица П2

Значения коэффициента α

$\xi = 2z/b$	Коэффициент α для фундаментов							
	круглых	прямоугольных с соотношением сторон $\eta = l/b$, равным						ленточных ($\eta \geq 10$)
		1,0	1,4	1,8	2,4	3,2	5	
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	0,123	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

$\xi = 2z/b$	Коэффициент α для фундаментов							
	круглых	прямоугольных с соотношением сторон $\eta = l/b$, равным						ленточных ($\eta \geq 10$)
		1,0	1,4	1,8	2,4	3,2	5	
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

Таблица ПЗ

*Значения коэффициента эквивалентного слоя A_{0c}
для жестких фундаментов*

$\eta = \frac{l}{b}$	Гравий и галька	Пески		Суглинки пластичные		Глины сильно-пластичные
	Глины и суглинки твердые		Супеси		Глины пластичные	
	При значении ν					
	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
1,0	0,89	0,94	0,99	1,08	1,24	1,58
1,5	1,09	1,15	1,21	1,32	1,52	1,94
2,0	1,23	1,30	1,37	1,49	1,72	2,20
3,0	1,46	1,54	1,62	1,76	2,01	2,59
4,0	1,63	1,72	1,81	1,97	2,26	2,90
5,0	1,74	1,84	1,94	2,11	2,42	3,10
>10	2,15	2,26	2,38	2,60	2,98	3,82

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. - Л., 1988. - 515с.
2. Далматов Б.И. Механика грунтов: Ч. 1: Основы геотехники: Учебник для вузов / Далматов Б.И., Бронин В. Н., Карлов В.Д. и др. - М., Изд. АСВ, 2002. -
3. Ким М.С. Основы механики грунтов: Учебное пособие. - Воронеж, 2006. - 100 с.
4. Ким Б.И., Литвин И.Е. Задачник по механике грунтов в трубопроводном строительстве: учебное пособие для вузов /Под. ред. П.П. Бородавкина. -

- М., Недра, 1989. - 182 с.
5. Механика грунтов, основания и фундаменты: учебное пособие для строит. спец. вузов /С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский и др.; Под ред. С.Б. Ухова. – М., Высшая школа, 2002. - 566 с.
 6. Мангушев Р.А. Механика грунтов. Решение практических задач [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Мангушев Р.А., Усманов Р.А.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012.— 111 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/19012>.— ЭБС «IPRbooks»,
 7. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика под. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова - М., Стройиздат, 1985 - 480 с.
 8. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01 – 83*. - М., 2011 -162 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Содержание работы и порядок ее выполнения	4
2. Задания для самостоятельной работы.....	5
3. Методические указания к выполнению работы.....	10
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	23
Приложение. Таблицы значений некоторых величин к выполнению работы.....	24
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	25

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

*Методические указания и задания
для самостоятельной работы студентов,
обучающихся по направлению подготовки
08.05.01 (271101.65) «Строительство уникальных
зданий и сооружений»*

Составители: канд. техн. наук, доц. **Ким Марина Семеновна**
канд. техн. наук, доц. **Ким Вячеслав Хакченович**

Подписано в печать 18.12.2015 г. Уч.-изд. л. 1,6.

Воронежский ГАСУ
394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

