

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра оснований, фундаментов, динамики сооружений
и инженерной геологии

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

*Учебно-методическое пособие к выполнению расчетно-графической работы
для студентов заочной формы обучения
по направлению 08.03.01 «Строительство»*

Казань
2015

УДК 624.15,

ББК 38.58,

ISBN 5-7829-0058-X

Механика грунтов. Учебно-методическое пособие к выполнению расчетно-графической работы для студентов заочной формы обучения по направлению 08.03.01 «Строительство» / Сост. Д.Р.Сафин, Р.Р.Хасанов. - Казань: КГАСУ, 2015. - 36с.

В методических указаниях даны задания и примеры решения задач по механике грунтов.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Рецензент: директор ООО «НПСФ «Фундаментспецремонт»,
кандидат технических наук **И.Ф.Шакиров**

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2015

© Сафин Д.Р., Хасанов Р.Р., 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ.....	4
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ С ПРИМЕРАМИ РАСЧЕТА	6
2.1. Задача №1. Определение напряжений в массиве грунта от совместного действия сосредоточенных сил	6
2.2. Задача №2. Определение напряжений в массиве грунта методом угловых точек	8
2.3. Задача №3. Определение напряжений в массиве грунта от действия распределенной нагрузки в условиях плоской задачи	12
2.4. Задача №4. Определение давления грунта на подпорную стенку	15
2.5. Задача №5. Определение устойчивости грунтового откоса.....	20
2.6. Задача №6. Расчет осадки основания методом послойного суммирования.....	24
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	29
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Исходные данные	30
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Справочные таблицы	32

ВВЕДЕНИЕ

Механика грунтов является теоретической базой фундаментостроения. Применение положений современной механики грунтов в проектной и производственной практике позволяет более полно использовать несущую способность оснований, выбирать наиболее экономичные и рациональные способы возведения фундаментов зданий и инженерных сооружений с учетом инженерно-геологической обстановки.

Одновременно с изучением программного теоретического материала учебный план предусматривает выполнение студентами заочного обучения расчетно-графической работы по механике грунтов. Выполнение работы является одним из ответственных звеньев учебного процесса и имеет целью закрепить теоретические знания, полученные студентами за период самостоятельного изучения курса, а также должно способствовать умелому применению этих знаний при инженерном решении задач теории механики грунтов. В процессе выполнения контрольной работы студент должен научиться пользоваться действующими Строительными нормами и правилами, руководствами, справочными и литературными материалами.

Решению задач в расчетно-графической работе должно предшествовать изучение соответствующих разделов курса «Механика грунтов». При выполнении работы рекомендуется пользоваться литературой, приведенной в конце данных методических указаний.

1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

Расчетно-графическая работа составлена в соответствии с программой курса и содержит шесть задач по следующим разделам: определение напряжений в грунтах от действия внешних сил – задачи № 1, 2, 3; теория предельного напряженного состояния грунтов и ее приложения – задачи № 4, 5; деформации грунтов и расчет осадок фундаментов – задача №6.

Для выполнения работы необходимо выбрать данные из соответствующих таблиц, приведенных в ПРИЛОЖЕНИИ 1 настоящих методических указаний. Выбор исходных данных производится по индивидуальному трехзначному шифру, который подбирается следующим образом: первая цифра шифра соответствует первой цифре номера группы, вторая цифра шифра – предпоследней цифре номера зачетной книжки, третья цифра шифра – последней цифре номера зачетной книжки. Например: номер группы студента 8ПГ213, зачетная книжка №0310253 – получаем номер шифра №853.

Студент обязан выполнить работу в срок, предусмотренный индивидуальным планом-графиком на учебный год. Выполненную работу студент направляет на кафедру для рецензирования.

Расчетно-графическая работа, выполненная по варианту, не соответствующему учебному шифру, и без соблюдения указанных ниже требований к оформлению, на рецензирование не принимается.

Консультации, связанные с выполнением контрольной работы, студент может получить у преподавателя, ведущего дисциплину. Для облегчения выполнения работы в указаниях к каждой задаче приведены краткие рекомендации о последовательности выполнения расчетов и примеры расчета.

Расчетно-графическая работа должна содержать расчетно-пояснительную записку, в состав которой следует включить: исходные данные, теоретическую часть, отражающую методику расчетов, сами расчеты и их результаты, расчетные схемы со всеми необходимыми обозначениями и размерами, список литературы. Результаты расчетов могут быть представлены в табличной форме. **Расчетно-пояснительная записка выполняется на стандартных листах бумаги формата А4 (210×297 мм). Текст следует писать от руки на одной стороне листа аккуратно, разборчиво.** 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, помещают в конце записки.

Расчетные схемы выполняются в карандаше на листах чертежной бумаги или миллиметровке формата А4. Необходимо помнить, что данные расчет и схемы должны быть строго увязаны между собой, так как они составляют одно целое.

Листы записки должны иметь сквозную нумерацию и быть сброшюрованы. На обложке расчетно-пояснительной записки указывают: университет, кафедру, наименование работы, факультет, курс, фамилию, инициалы студента, номер зачетной книжки, его шифр, дату выполнения контрольной работы. Расчетно-пояснительная записка должна быть подписана студентом.

Если в работе допущены ошибки, и она была возвращена без зачета, студент должен сделать необходимые исправления на свободных листах с припиской «исправление ошибок». Перечеркивание и исправление написанного текста, расчетов и расчетных схем недопустимо.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ С ПРИМЕРАМИ РАСЧЕТА

2.1. Задача №1. Определение напряжений в массиве грунта от совместного действия сосредоточенных сил

Условия задачи. К горизонтальной поверхности массива грунта в одном створе приложены три вертикальные сосредоточенные силы N_1 , N_2 , N_3 , расстояние между осями действия сил L_1 и L_2 .

Определить величины вертикальных составляющих напряжений σ_z от совместного действия сосредоточенных сил в точках массива грунта, расположенных в плоскости действия сил:

- по вертикали I-I, проходящей через точку приложения силы N_2 ;
- по горизонтали II-II, проходящей на расстоянии d от поверхности массива грунта.

Точки по вертикали расположить от поверхности на расстоянии 1,0; 2,0; 4,0 и 6,0 м. Точки по горизонтали расположить вправо и влево от оси действия силы N_2 на расстоянии 0; 1,0 и 3,0 м. По вычисленным напряжениям и заданным осям построить эпюры распределения напряжений σ_z . Исходные данные приведены в табл.П1.1 приложения 1. Схема к задаче представлена на рис.1.

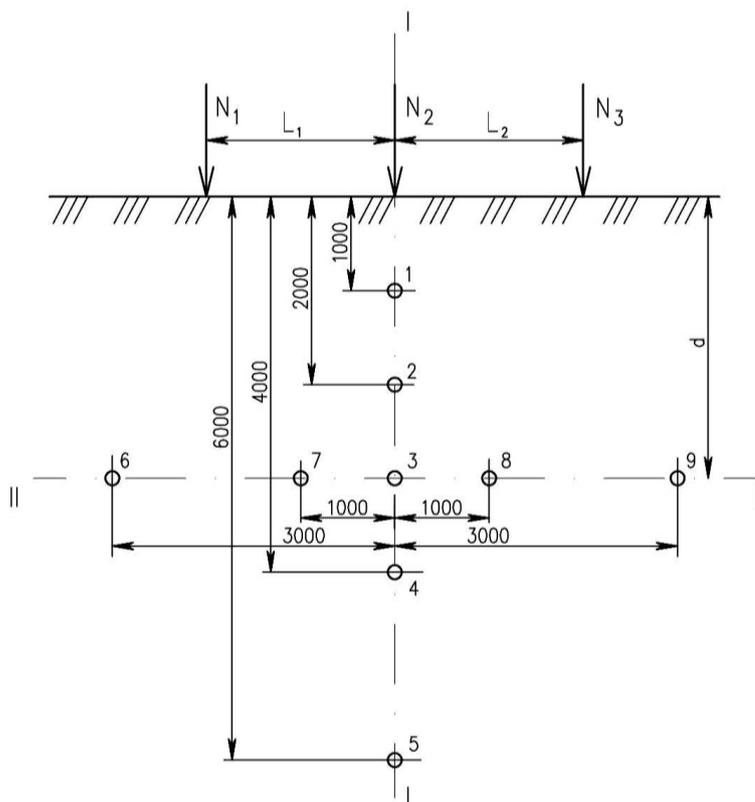


Рис.1. Схема к задаче №1

Указания к решению. Для случая, когда к горизонтальной поверхности массива грунта приложено несколько сосредоточенных сил

$N_1, N_2, N_3 \dots N_n$, величины вертикальных составляющих напряжений σ_z в любой точке массива грунта можно определить суммированием составляющих напряжений от действия каждой силы в отдельности с использованием зависимости:

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

где k_i – коэффициент, являющийся функцией отношения r_i / z_i ;
 r_i – расстояние по горизонтальной оси от рассматриваемой точки до оси z , проходящей через точку приложения сосредоточенной силы N_i ;
 z_i – глубина рассматриваемой точки от плоскости приложения сосредоточенной силы N_i .

Значения коэффициента k приведены в табл.П2.1 приложения 2 настоящих методических указаний.

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

Пример расчета.

Дано: $N_1 = 1100 \text{ кН}, N_2 = 700 \text{ кН}, N_3 = 1800 \text{ кН}, L_1 = 2,0 \text{ м}, L_2 = 3,0 \text{ м}, d = 3,0 \text{ м}.$

Напряжения в заданных точках определяем по формуле:

$$\sigma_{zi} = k_1 \frac{N_1}{z_i^2} + k_2 \frac{N_2}{z_i^2} + k_3 \frac{N_3}{z_i^2}, \text{ кПа.}$$

Для удобства расчетов все вычисления ведем в табличной форме (табл.1).

Таблица 1

№№ точек	z, м	$N_1=1100 \text{ кН}$			$N_2=700 \text{ кН}$			$N_3=1800 \text{ кН}$			σ_{zi} , кПа
		r_1 , м	r_1/z	k_1	r_2 , м	r_2/z	k_2	r_3 , м	r_3/z	k_3	
По вертикали (сечение I-I)											
1	1,0	2,0	2,0	0,0085	0	0	0,4775	3,0	3,0	0,0015	346
2	2,0	2,0	1,0	0,0844	0	0	0,4775	3,0	1,5	0,0251	118
3	3,0	2,0	0,67	0,1889	0	0	0,4775	3,0	1,0	0,0844	77
4	4,0	2,0	0,5	0,2733	0	0	0,4775	3,0	0,75	0,1565	57
5	6,0	2,0	0,33	0,3687	0	0	0,4775	3,0	0,5	0,2733	34
По горизонтали (сечение II- II)											
6	3,0	1,0	0,33	0,3687	3,0	1,0	0,0844	6,0	2,0	0,0085	53
7	3,0	1,0	0,33	0,3687	1,0	0,33	0,3687	4,0	1,33	0,0374	81
3	3,0	2,0	0,67	0,1889	0	0	0,4775	3,0	1,0	0,0844	77
8	3,0	3,0	1,0	0,0844	1,0	0,33	0,3687	2,0	0,67	0,1889	77
9	3,0	5,0	1,67	0,0171	3,0	1,0	0,0844	0	0	0,4775	104

По полученным в соответствующих точках значениям напряжений строим эпюры распределения напряжений по вертикали и горизонтали (рис.2).

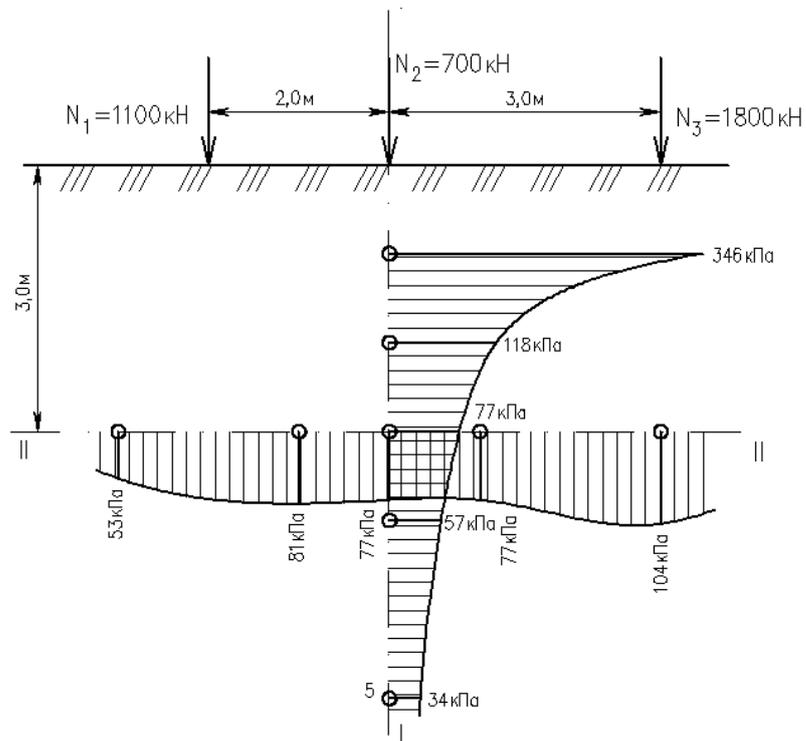


Рис.2. Эпюры распределения напряжений (к задаче №1)

2.2. Задача №2. Определение напряжений в массиве грунта методом угловых точек

Условия задачи. Горизонтальная поверхность массива грунта по прямоугольным площадкам с размерами в плане $c_1 \times d_1$ и $c_2 \times d_2$ нагружена равномерно распределенной вертикальной нагрузкой интенсивностью p_1 и p_2 .

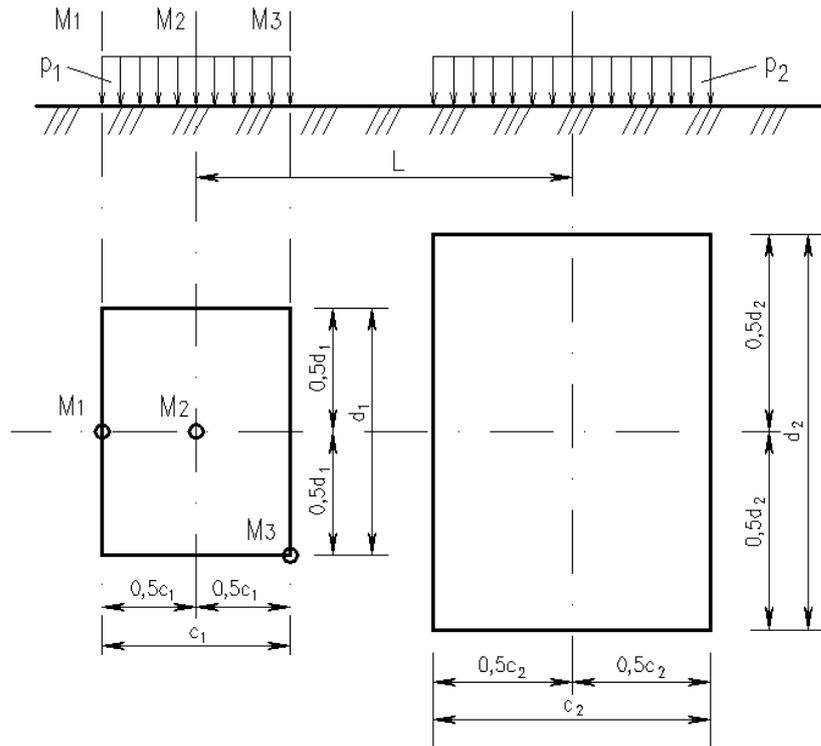


Рис.3. Схема к задаче №2

Определить величины вертикальных составляющих напряжений σ_z в точках массива грунта для заданной вертикали, проходящей через одну из точек M_1 , M_2 или M_3 от совместного действия распределенных нагрузок на поверхности. Расстояние между осями площадок нагружения – L . Точки по вертикали расположить от поверхности на расстояниях 1,0; 2,0; 4,0 и 6,0 м. По вычисленным напряжениям построить эпюру распределения σ_z . Исходные данные приведены в табл.П1.2. Схема к задаче представлена на рис.3.

Указания к решению. Распределение вертикальных напряжений σ_{zc} в любой точке массива грунта по глубине от действия равномерно распределенной местной нагрузки в пределах или за пределами площадок нагружения может быть определено методом угловых точек по формуле:

$$\sigma_{zc} = k_c \cdot p, \quad (2)$$

где k_c – коэффициент, определяемый в зависимости от отношения сторон прямоугольной площади загрузки a/b (a – длинная ее сторона, b – короткая, независимо от направления сторон) и отношения z/b (z – глубина, на которой определяется напряжение σ_{zc});

p – интенсивность равномерно распределенной нагрузки.

Метод угловых точек применяют в случае, когда грузовая площадь может быть разбита на такие прямоугольники, чтобы рассматриваемая точка оказалась угловой. В соответствии с этим заданные площадки нагружения необходимо разбить на прямоугольники таким образом, чтобы они имели общую угловую точку, через которую проходит расчетная вертикаль M_i . Для каждого из этих прямоугольников со сторонами $a_i \times b_i$ с помощью таблиц определяют значения коэффициента k_{ci} и, пользуясь принципом независимости действия сил, находят алгебраическим суммированием напряжения в заданных точках массива грунта. Значения коэффициента k_c приведены в табл.П2.2 приложения 2 настоящих методических указаний. Масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 50 кПа в 1 см.

Пример расчета.

Дано: $c_1 = 2,5\text{м}$, $d_1 = 1,9\text{м}$, $p_1 = 290\text{кПа}$, $c_2 = 6,0\text{м}$, $d_2 = 2,8\text{м}$, $p_2 = 330\text{кПа}$, $L = 2,8\text{м}$, расчетная вертикаль M_3 . Заданные площадки нагружения разбиваем (достраивая при необходимости) на прямоугольники таким образом, чтобы они имели общую угловую точку, через которую проходит расчетная вертикаль M_3 (рис.3). Таким образом, имеем 5 прямоугольников:

1. $a_1 = 2,5\text{м}$, $b_1 = 1,9\text{м}$, $p_1 = 290\text{кПа}$.
2. $a_2 = 4,25\text{м}$, $b_2 = 3,25\text{м}$, $p_2 = 330\text{кПа}$.
3. $a_3 = 3,25\text{м}$, $b_3 = 1,75\text{м}$, $p_2 = 330\text{кПа}$.
4. $a_4 = 4,25\text{м}$, $b_4 = 0,45\text{м}$, $p_2 = 330\text{кПа}$.
5. $a_5 = 1,75\text{м}$, $b_5 = 0,45\text{м}$, $p_2 = 330\text{кПа}$.

Искомые напряжения найдем, суммируя напряжения от действия нагрузки по прямоугольникам 1, 2 и 3, взятые со знаком «+», и напряжения от действия нагрузки по прямоугольникам 4 и 5 со знаком «-», т.е.

$$\sigma_{zc,i} = \sigma_{zc1} + \sigma_{zc2} + \sigma_{zc3} - \sigma_{zc4} - \sigma_{zc5} = k_{c1} \cdot p_1 + (k_{c2} + k_{c3} - k_{c4} - k_{c5}) \cdot p_2.$$

Для удобства расчетов вычисления ведем в табличной форме (табл.2 – 5).

Таблица 2

Напряжения в точке №1

№ № прямоугольников	z_i , м	a_i , м	b_i , м	p_i , кПа	$\frac{a_i}{b_i}$	$\frac{z_i}{b_i}$	k_{ci}	$k_{ci} \cdot p_i$, кПа
1 (+)	1,0	2,5	1,9	290	1,32	0,53	0,2352	68,2
2 (+)		4,25	3,25	330	0,31	0,31	0,2457	81,1
3 (+)		3,25	1,75		1,86	0,57	0,232	76,6
4 (-)		4,25	0,45		9,44	2,22	0,128	42,2
5 (-)		1,75	0,45		3,89	2,22	0,1251	41,3
$\sigma_{zc,1} = 68,2 + 81,1 + 76,6 - 42,2 - 41,3 = 142 \text{ кПа}$								

Таблица 3

Напряжения в точке №2

№ № прямоугольников	z_i , м	a_i , м	b_i , м	p_i , кПа	$\frac{a_i}{b_i}$	$\frac{z_i}{b_i}$	k_{ci}	$\sigma_{zc,i}$, кПа
1 «+»	2,0	2,5	1,9	290	1,32	1,06	0,1782	51,7
2 «+»		4,25	3,25	330	1,31	0,62	0,2286	75,4
3 «+»		3,25	1,75		1,86	1,14	0,1983	65,4
4 «-»		4,25	0,45		9,44	4,4	0,069	22,8
5 «-»		1,75	0,45		3,89	4,4	0,0597	19,7
$\sigma_{zc,2} = 51,7 + 75,4 + 65,4 - 22,8 - 19,7 = 150 \text{ кПа}$								

Таблица 4

Напряжения в точке №3

№ № прямоугольников	z_i , м	a_i , м	b_i , м	p_i , кПа	$\frac{a_i}{b_i}$	$\frac{z_i}{b_i}$	k_{ci}	$\sigma_{zc,i}$, кПа
1 «+»	4,0	2,5	1,9	290	1,32	2,11	0,0933	27,1
2 «+»		4,25	3,25	330	1,31	1,23	0,1654	54,6
3 «+»		3,25	1,75		1,86	2,28	0,1009	33,3
4 «-»		4,25	0,45		9,44	8,89	0,0316	10,4
5 «-»		1,75	0,45		3,89	8,89	0,0199	6,6
$\sigma_{zc,3} = 27,1 + 54,6 + 33,3 - 10,4 - 6,6 = 98 \text{ кПа}$								

Таблица 5

Напряжения в точке №4

№ № прямоугольников	z_i , м	a_i , м	b_i , м	p_i , кПа	$\frac{a_i}{b_i}$	$\frac{z_i}{b_i}$	k_{ci}	$\sigma_{zc,i}$, кПа
1 «+»	6,0	2,5	1,9	290	1,32	3,16	0,0508	14,7
2 «+»		4,25	3,25	330	1,31	1,85	0,1013	33,4
3 «+»		3,25	1,75		1,86	3,43	0,0571	18,8
4 «-»		4,25	0,45		9,44	13,3	0,0155	5,1
5 «-»		1,75	0,45		3,89	13,3	0,0084	2,8
$\sigma_{zc,4} = 14,7 + 33,4 + 18,8 - 5,1 - 2,8 = 59 \text{ кПа}$								

По полученным значениям напряжений строим эпюру распределения напряжений σ_{zc} (рис.4).

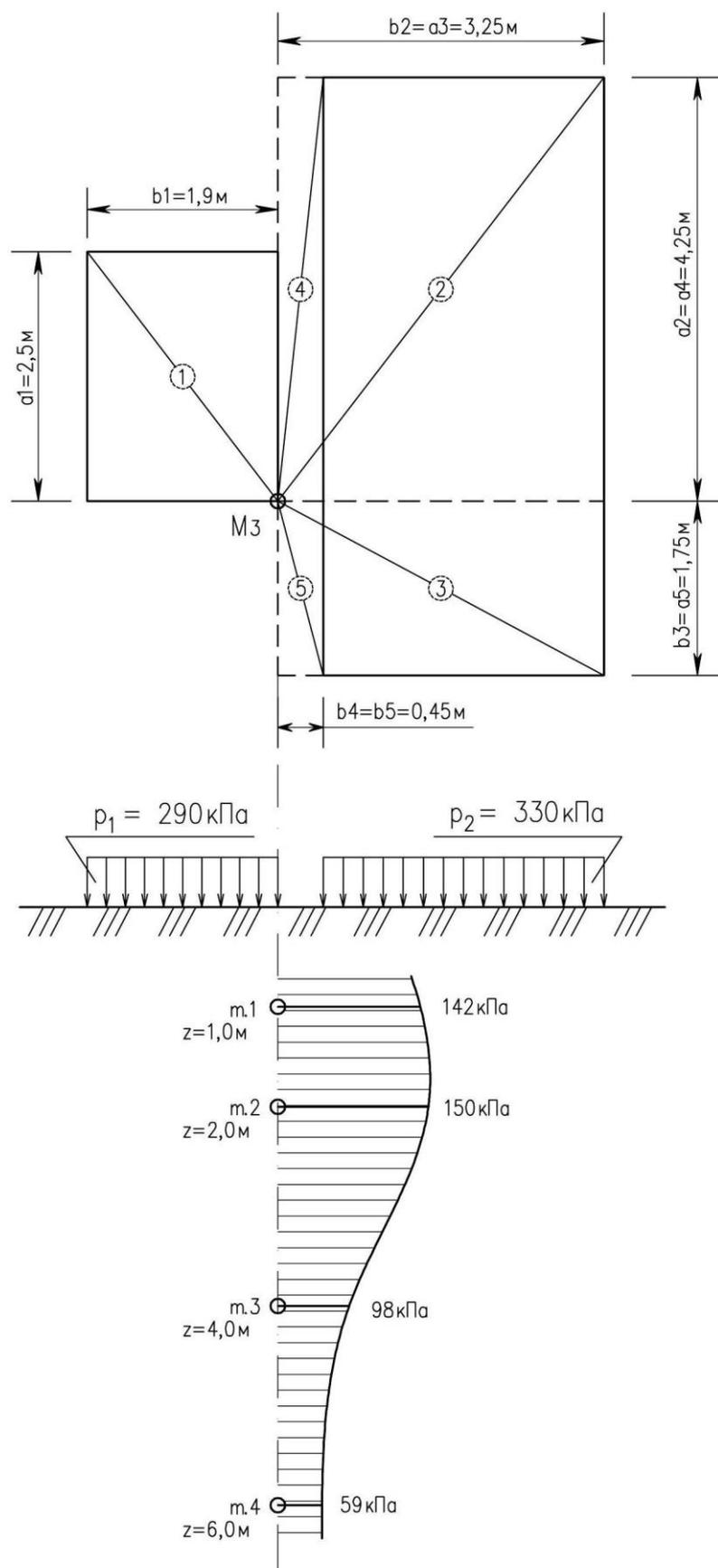


Рис.4. Эпюра распределения напряжений (к задаче №2)

2.3. Задача №3. Определение напряжений в массиве грунта от действия распределенной нагрузки в условиях плоской задачи

Условия задачи. К горизонтальной поверхности массива грунта приложена вертикальная неравномерная нагрузка, распределенная в пределах гибкой полосы шириной b по закону трапеции от p_1 до p_2 .

Определить величины вертикальных составляющих напряжений σ_z в точках массива грунта для заданной вертикали, проходящей через одну из точек M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 загруженной полосы, и горизонтали, расположенной на расстоянии z от поверхности. Точки по вертикали расположить от поверхности на расстоянии 1,0; 2,0; 4,0 и 6,0 м. Точки по горизонтали расположить вправо и влево от середины загруженной полосы на расстоянии 0; 1,0 и 3,0 м. По вычисленным напряжениям построить эпюры распределения напряжений σ_z . Исходные данные приведены в табл.П1.3. Схема к задаче представлена на рис.5.

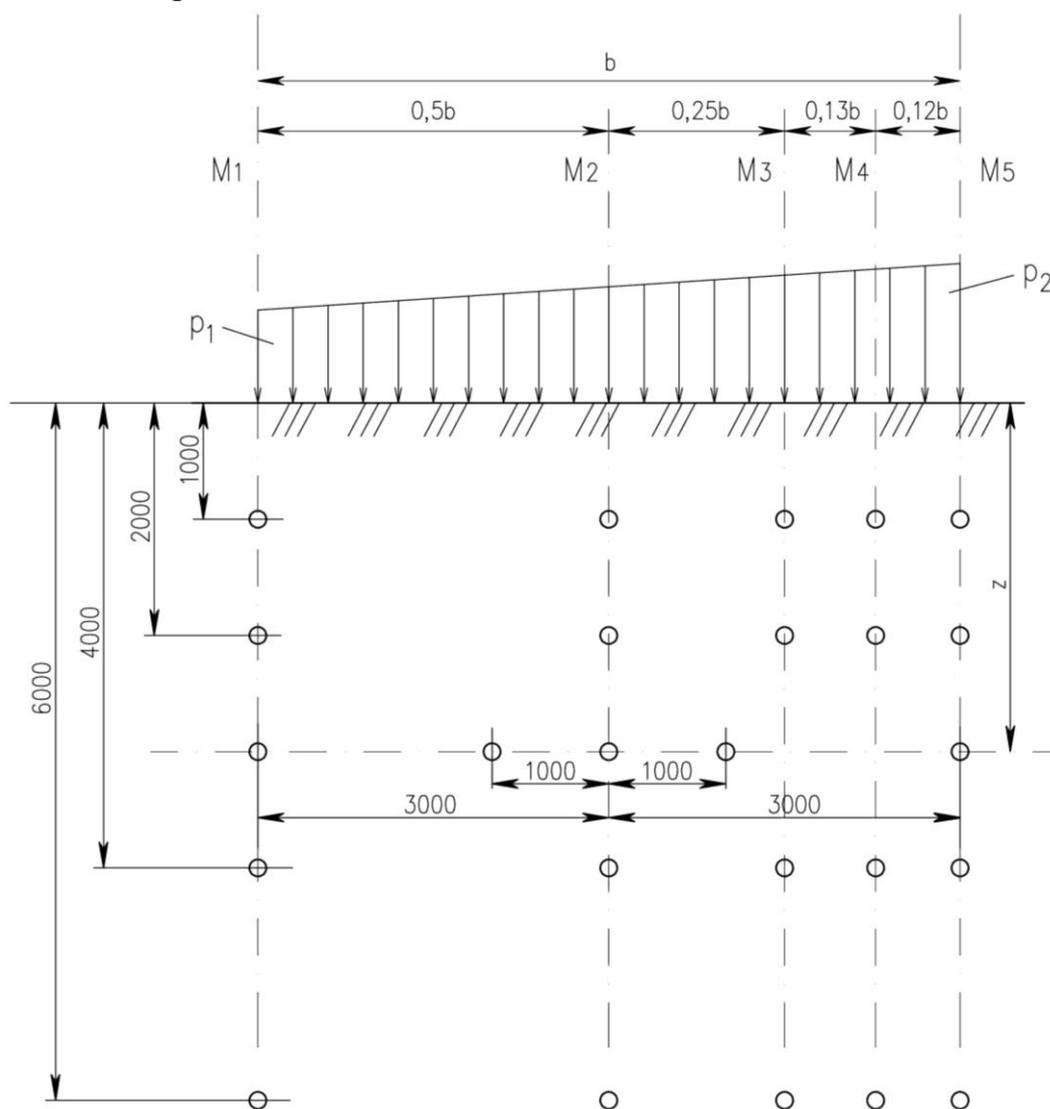


Рис.5. Схема к задаче №3

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

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

$$\sigma_z = k_z \cdot p, \quad (3)$$

где k_z – коэффициент, определяемый в зависимости от величины относительных координат z/b и y/b по табл.П2.3.1 настоящих методических указаний;

p – вертикальная равномерно распределенная нагрузка.

Вертикальные напряжения σ_z , возникающие от действия полосообразной неравномерной нагрузки, распределенной по закону треугольника (треугольный элемент эпюры внешней нагрузки), определяются по формуле:

$$\sigma'_z = k'_z \cdot p', \quad (4)$$

где k'_z – коэффициент, определяемый в зависимости от величины относительных координат z/b и y/b по табл.П2.3.2 настоящих методических указаний;

p' – наибольшая ордината треугольной нагрузки.

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

Пример расчета.

Дано: $b = 6,0\text{м}$, $p_1 = 140\text{кПа}$, $p_2 = 240\text{кПа}$, $z = 4,0\text{м}$, расчетная вертикаль M_5 .

При расчете вертикальных напряжений равномерно распределенную нагрузку принимаем $p = p_1 = 140\text{кПа}$, при этом наибольшая ордината треугольной нагрузки $p' = p_2 - p_1 = 240 - 140 = 100\text{кПа}$.

Необходимо учесть, что начало координат для равномерно распределенной нагрузки находится в середине полосы нагружения, а начало координат для неравномерно распределенной нагрузки находится с краю полосы нагружения, где значение треугольной нагрузки равно нулю.

Вычисляем напряжения в расчетных точках по формуле:

$$\sigma_z = k_z p + k'_z p'. \quad (5)$$

Для удобства расчетов вычисления ведем в табличной форме (табл.6).

Таблица 6

№№ точек	y, м	Прямоугольная форма нагрузки					Треугольная форма нагрузки						$\Sigma \sigma_z$, кПа
		z/b	y/b	k_z	p, кПа	σ_z , кПа	y', м	z'/b	y'/b	k'_z	p', кПа	σ'_z , кПа	
По вертикали М ₅													
Т.1 z=z'=1	3,0	0,17	0,5	0,5	140	70,0	6,0	0,17	1,0	0,45	100	44,8	114,8
Т.2 z=z'=2	3,0	0,33	0,5	0,49		68,6	6,0	0,33	1,0	0,40		40,0	108,6
Т.3 z=z'=4	3,0	0,67	0,5	0,46		64,4	6,0	0,67	1,0	0,31		31,0	95,4
Т.4 z=z'=6	3,0	1,0	0,5	0,41		57,4	6,0	1,0	1,0	0,25		25,0	82,4
По горизонтали z=4,0м													
Т.5 z=z'=4	3,0	0,67	0,5	0,46	140	64,4	0	0,67	0	0,15	100	15,0	79,4
Т.6 z=z'=4	1,0	0,67	0,17	0,67		93,8	2,0	0,67	0,33	0,29		29,0	122,8
Т.7 z=z'=4	0	0,67	0	0,72		100,8	3,0	0,67	0,5	0,36		36,0	136,8
Т.8 z=z'=4	1,0	0,67	0,17	0,67		93,8	4,0	0,67	0,67	0,39		39,0	132,8

По полученным значениям строим эпюры распределения напряжений (рис. 6).

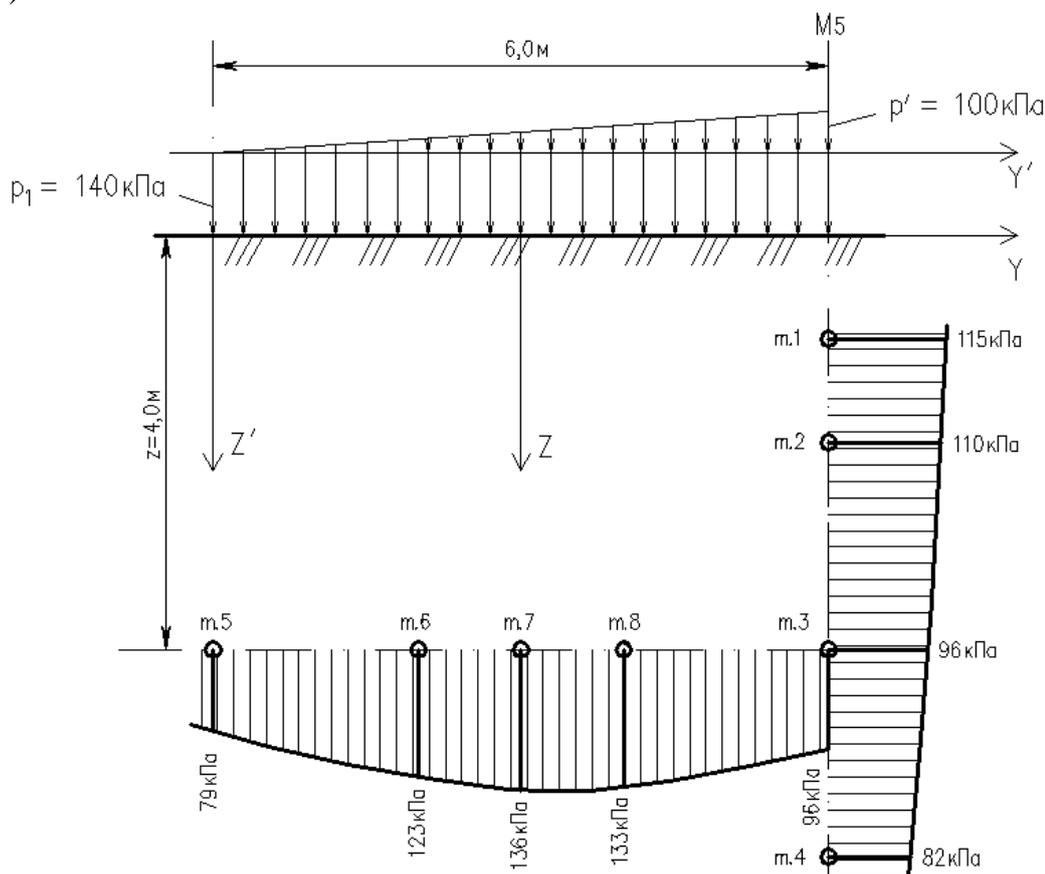


Рис.6. Эпюра распределения напряжений (к задаче №3)

2.4. Задача №4. Определение давления грунта на подпорную стенку

4а. Определение давления на подпорную стенку от идеально сыпучего грунта

Условия задачи. Подпорная стенка высотой H с абсолютно гладкими вертикальными гранями и горизонтальной поверхностью засыпки грунта за стенкой имеет заглубление фундамента h .

Определить активное и пассивное давление сыпучего грунта на подпорную стенку. Исходные данные приведены в табл.П1.4. Схема подпорной стенки представлена на рис.7. При построении расчетной схемы и эпюр активного и пассивного давлений грунта на подпорную стенку следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб давлений 25 кПа в 1 см.

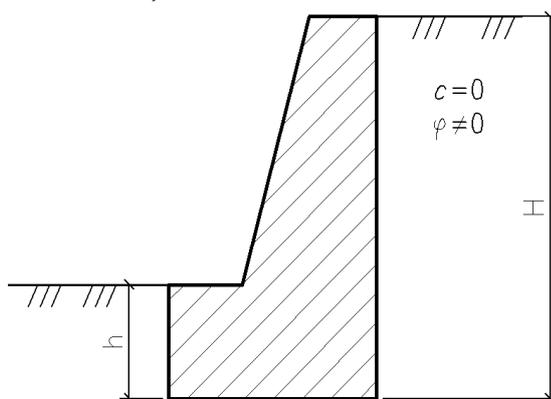


Рис.7. Схема подпорной стенки (к задаче №4а)

Указания к решению. Общее выражение для определения давления сыпучих грунтов имеет следующий вид:

$$\sigma_a = \gamma \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (6)$$

где z – расстояние точки от поверхности засыпки.

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

$$\sigma_{a(H)} = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (7)$$

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

$$E_a = \sigma_{a(H)} \cdot \frac{H}{2}. \quad (8)$$

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

$$\sigma_{p(h)} = \gamma \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right). \quad (9)$$

Равнодействующая пассивного давления:

$$E_p = \sigma_{p(h)} \cdot \frac{h}{2}. \quad (10)$$

Пример расчета.

Дано: Высота стенки $H=6$ м, высота заглубления стенки $h=1,5$ м. Угол внутреннего трения грунта $\varphi=16^\circ$. Удельный вес грунта $\gamma=22$ кН/м³.

Активное давление грунта на подпорную стенку:

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

Равнодействующая активного давления:

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

Пассивное давление грунта на подпорную стенку:

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

Равнодействующая пассивного давления:

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

По полученным данным строим расчетную схему и эпюру напряжений (рис. 8).

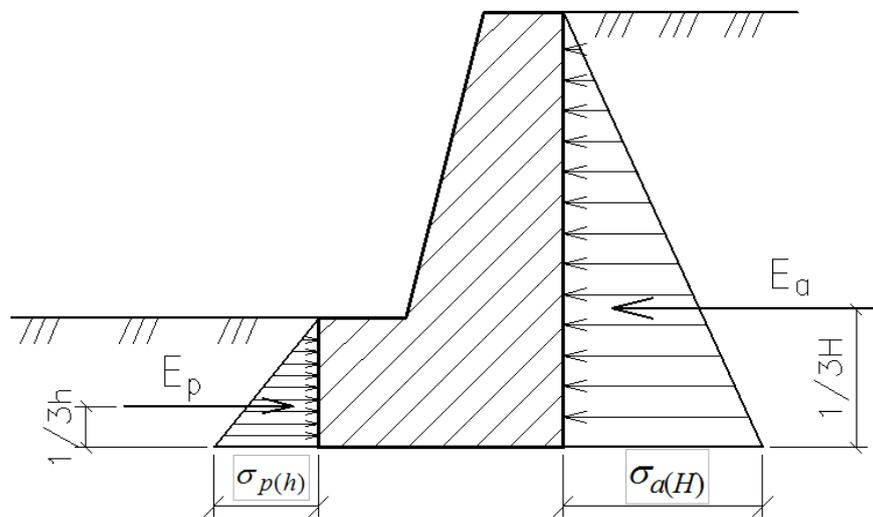


Рис.8. Расчетная схема подпорной стенки (к задаче №4а)

4б. Определение давления на подпорную стенку от идеально сыпучего грунта с учетом пригруза на поверхности

Условия задачи. Определить активное давление сыпучего грунта на подпорную стенку с учетом пригруза на поверхности. Исходные данные приведены в табл.П1.4. Схема к задаче представлена на рис.9. При построении расчетной схемы и эпюры активного давления грунта на подпорную стенку

следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб давлений 25 кПа в 1 см.

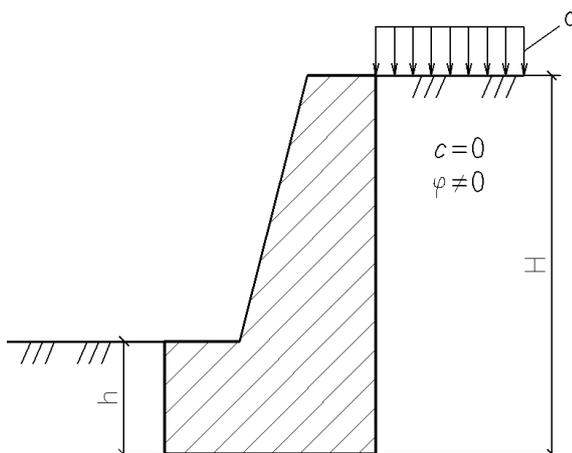


Рис.9. Схема подпорной стенки (к задаче №4б)

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

$$h_q = \frac{q}{\gamma}. \quad (11)$$

Активное давление на уровне верха подпорной стенки:

$$\sigma_{a(h_q)} = \gamma \cdot h_q \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (12)$$

Активное давление на уровне подошвы подпорной стенки:

$$\sigma_{a(h_q+H)} = \gamma \cdot (h_q + H) \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (13)$$

Равнодействующая активного давления:

$$E_a = \frac{\sigma_{a(h_q)} + \sigma_{a(h_q+H)}}{2} \cdot H. \quad (14)$$

Пример расчета.

Дано: Интенсивность пригрузки на поверхности грунта $q = 50 \text{ кПа}$.

Эквивалентная высота слоя грунта:

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

Активное давление на уровне верха подпорной стенки:

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

Активное давление на уровне подошвы подпорной стенки:

$$\sigma_{a(h_q+H)} = \gamma \cdot (h_q + H) \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = 22 \cdot (2,27 + 6) \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{16}{2}\right) = 103,3 \text{ кПа.}$$

Равнодействующая активного давления:

$$E_a = \frac{\sigma_a(h_q) + \sigma_a(h_q+H)}{2} \cdot H = \frac{28,36 + 103,3}{2} \cdot 6 = 395,0 \text{ кН/м.}$$

По полученным данным строим расчетную схему и эпюру напряжений (рис. 10).

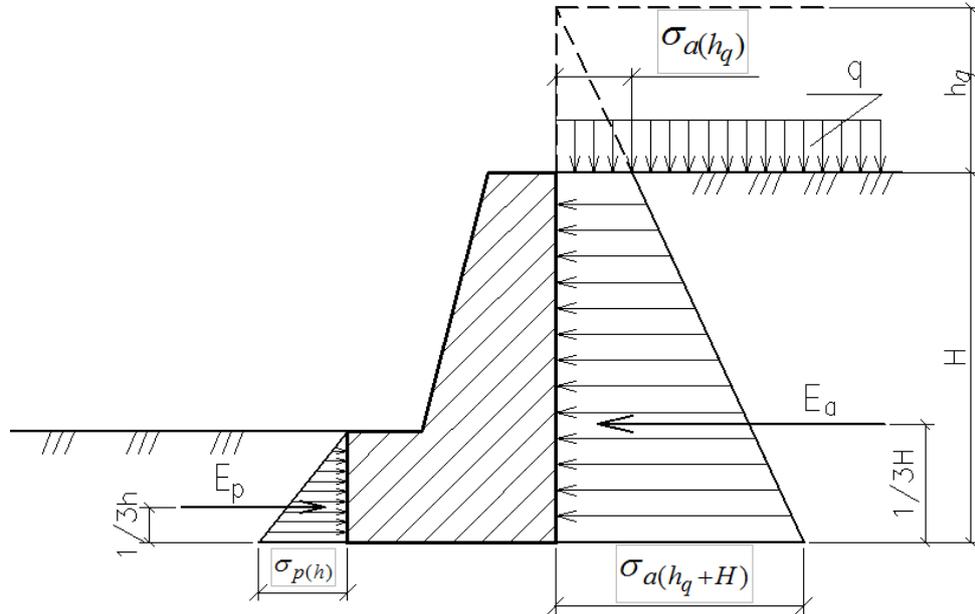


Рис.10. Расчетная схема подпорной стенки (к задаче №4б)

4в. Определение давления на подпорную стенку от связного грунта

Условия задачи. Определить активное и пассивное давление связного грунта на подпорную стенку. Исходные данные приведены в табл.П1.4. Схема к расчету представлена на рис.11. При построении расчетной схемы и эпюр активного и пассивного давлений грунта на подпорную стенку следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб давлений 25 кПа в 1 см.

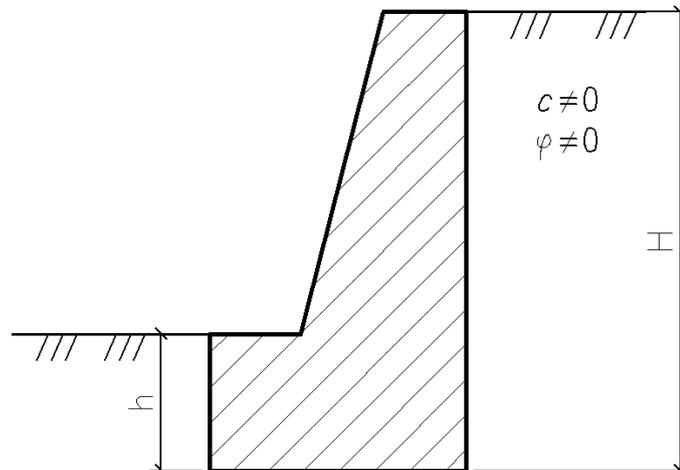


Рис.11. Схема подпорной стенки (к задаче №4в)

Указания к решению. Действие сил сцепления заменяется всесторонним давлением связности:

$$p_e = \frac{c}{\operatorname{tg}\varphi}. \quad (15)$$

Далее приводим давление связности по вертикали к эквивалентному слою грунта:

$$h' = \frac{c}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\varphi}. \quad (16)$$

Активное давление на уровне подошвы подпорной стенки:

$$\sigma_{a(H+h')} = \gamma \cdot (H + h') \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - p_e. \quad (17)$$

Подставляя значения и преобразовывая, получаем:

$$\begin{aligned} \sigma_{a(H+h')} &= \gamma \cdot \left(H + \frac{c}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\varphi}\right) \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - \frac{c}{\operatorname{tg}\varphi} = \\ &= \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right). \end{aligned} \quad (18)$$

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

$$h_c = \frac{2 \cdot c}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}. \quad (19)$$

Равнодействующая активного давления:

$$E_a = \frac{\sigma_{a(H+h')} \cdot (H - h_c)}{2}. \quad (20)$$

Равнодействующая пассивного давления в связных грунта будет равна:

$$E_p = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) + 2 \cdot c \cdot h \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right). \quad (21)$$

Пример расчета.

Дано: Угол внутреннего трения грунта $\varphi=21^\circ$, удельное сцепление грунта $c=18$ кПа, удельный вес грунта $\gamma=22$ кН/м³.

Действие сил сцепления заменяем всесторонним давлением связности:

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

Далее приводим вертикальное давление связности к эквивалентному слою грунта:

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

Активное давление на уровне подошвы подпорной стенки:

$$\sigma_{a(H+h')} = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) =$$

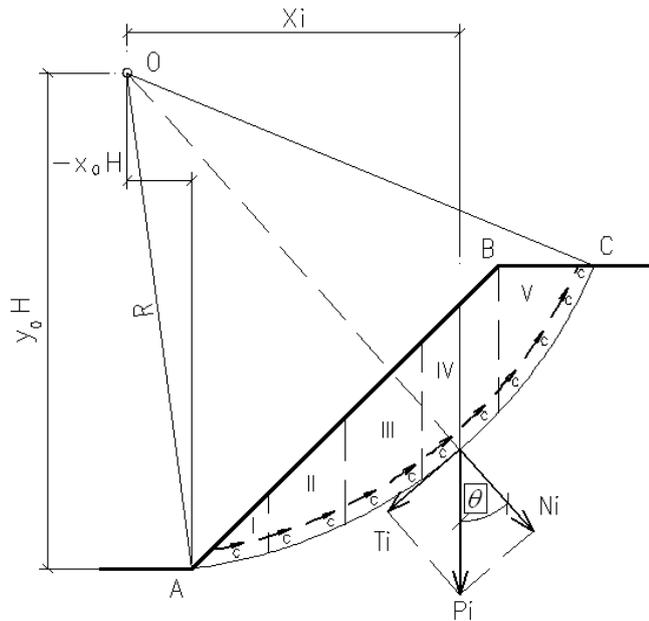


Рис.13. Расчетная схема (к задаче №5)

Указания к решению. В проектной практике решения подобных задач широко распространен расчет устойчивости откосов по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

За коэффициент устойчивости откоса K_y принимают отношение момента сил, удерживающих откос от сдвига $M_{yд}$, к моменту сил, стремящихся сдвинуть откос $M_{сдв}$:

$$K_y = \frac{M_{yд}}{M_{сдв}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n N_i \operatorname{tg} \varphi + cL \right) R}{\sum T_i R}, \quad (22)$$

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 грунта откоса;

c – удельное сцепление грунта откоса;

L – длина дуги скольжения AC;

R – радиус круглоцилиндрической дуги скольжения;

T_i – касательные составляющие от веса отсеков P_i , равные $P_i \sin \theta_i$.

Для откосов в однородной толще грунтов весьма полезным для определения координат X и Y центра O наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения, для которой коэффициент устойчивости K_y получается минимальным, является график Ямбу, представленный на рис. П2.1.

Вместе с тем без большой погрешности при $\cos \theta_i = 0,8$ формула для определения коэффициента устойчивости откоса может быть записана в более простом виде:

$$K_y = \frac{\left(0,8 \cdot \sum_{i=1}^n P_i \operatorname{tg} \varphi + cL\right) R}{\sum_{i=1}^n P_i X_i}, \quad (23)$$

где X_i – плечо от линии действия веса расчетного отсека до центра вращения (рис. 13).

Сдвигающий момент $M_{сдв}$ принимается для восходящей ветви кривой скольжения отрицательным, а для нисходящей ветви – положительным.

Радиус круглоцилиндрической дуги скольжения R , а также ширину и высоту отсеков допускается определять графически из расчетной схемы, выполненной в масштабе M 1:100. Для расчета выделяют 1 пог. метр по длине откоса (перпендикулярно к плоскости чертежа). Вес расчетного отсека определяется как произведение удельного веса грунта на объем отсека

$$P_i = \gamma \cdot V_i = \gamma \cdot A_i \cdot 1 \text{ п.м.}$$

где A_i – площадь i -го отсека.

Пример расчета.

Дано: Высота откоса $H=12$ м. Заложение откоса $m=2$ м. Угол внутреннего трения грунта $\varphi=16^\circ$. Удельное сцепление грунта $c=10$ кПа. Удельный вес грунта $\gamma=22$ кН/м³.

$$\text{Определяем значение } \lambda_{cp} = \frac{\gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg} \varphi}{c} = \frac{22 \cdot 12 \cdot \operatorname{tg} 16^\circ}{10} = 8.$$

$$\text{Угол наклона грунтового откоса } \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{m}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2}\right) = 27^\circ.$$

Для данных значений $\lambda_{cp}=8$, $\alpha=27^\circ$ по графику Янбу (рис.П2.1) определяем относительные координаты x_0 и y_0 центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения O :

$$x_0=0,45, \quad y_0=1,8.$$

Координаты центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения O :

$$x = x_0 \cdot H = 0,45 \cdot 12 = 5,4 \text{ м},$$

$$y = y_0 \cdot H = 1,8 \cdot 12 = 21,6 \text{ м}.$$

Расчетная схема представлена на рис. 14. При этом длина дуги скольжения $L=30,3$ м, радиус дуги – $R=22,3$ м.

Сдвигающий момент $M_{сдв}$ для блоков 1 и 2 принимается отрицательным, т.к. они находятся на восходящей ветви кривой скольжения.

Выделяем для расчета 10 отсеков шириной не более 3,0 м каждый и далее расчет ведем в табличной форме (табл. 7).

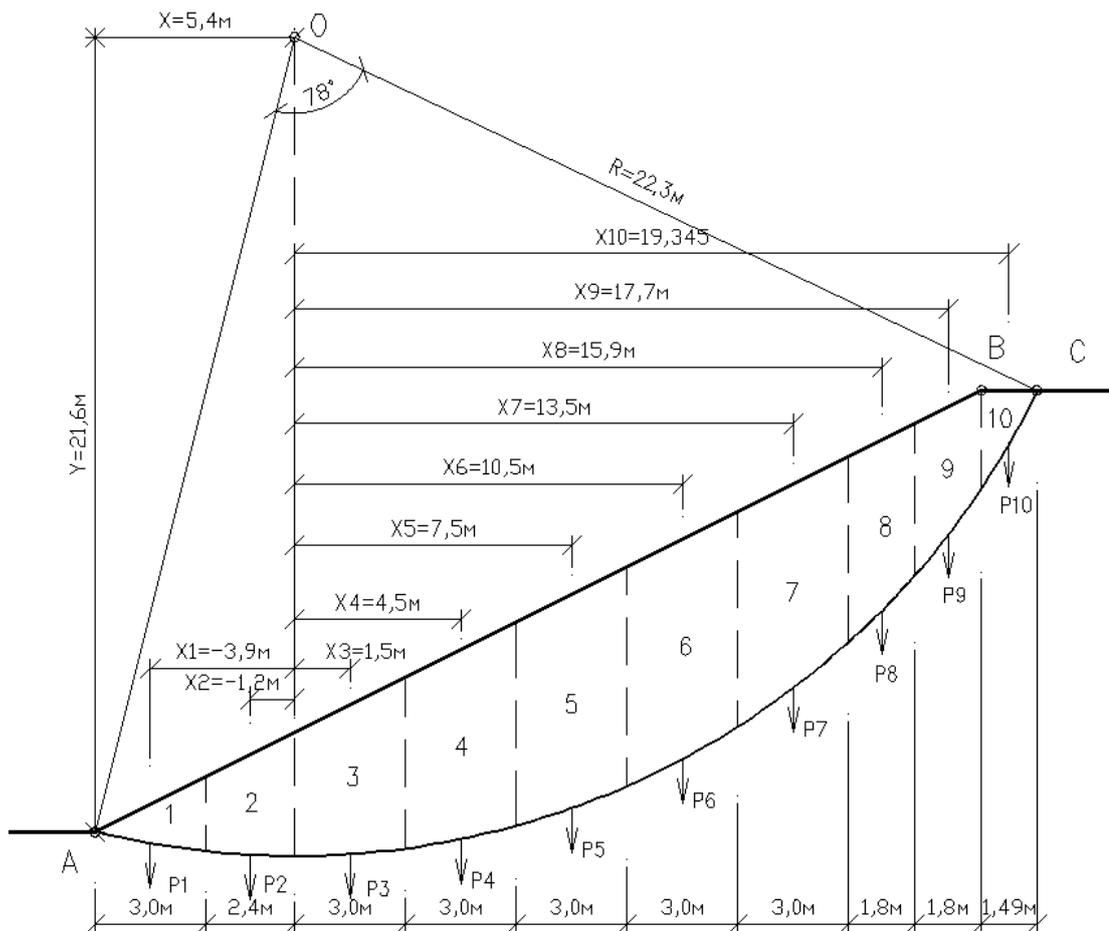


Рис.14. Схема к расчету устойчивости откоса методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения (к задаче №5)

Таблица 7

Номер отсека	Объем расчетного отсека $V_i, \text{м}^3$	Вес расчетного отсека $P_i, \text{кН}$	$X_i, \text{м}$	$K_y = \frac{\left(0,8 \cdot \sum_{i=1}^n P_i \text{tg} \varphi + cL\right) R}{\sum_{i=1}^n (P_i X_i)}$
1	3,1	68,2	-3,9	0,95
2	6,5	143,0	-1,2	
3	12,2	268,4	1,5	
4	15,3	336,6	4,5	
5	17,3	380,6	7,5	
6	17,9	393,8	10,5	
7	16,5	363,0	13,5	
8	8,3	182,6	15,9	
9	6,1	134,2	17,7	
10	2,1	46,2	19,35	

Вывод. Так как коэффициент устойчивости откоса $K_y=0,95 < 1,2$, грунтовый откос является неустойчивым.

2.6. Задача №6. Расчет осадки основания методом послойного суммирования

Условия задачи. Определить по методу послойного суммирования с учетом только осевых сжимающих напряжений величину полной стабилизированной осадки основания центрально нагруженного ленточного фундамента (ширина подошвы – b , глубина заложения фундамента – d , равномерно распределенное давление по подошве фундамента – p). С поверхности залегает песчаный грунт (мощность h_1 , удельный вес грунта γ_1 , удельный вес частиц грунта γ_{s1} , природная влажность W_1 , модуль общей деформации E_{01}), подстилаемый водонепроницаемой глиной (h_2, γ_2, E_{02}). Уровень грунтовых вод расположен в слое песчаного грунта на расстоянии h_w от уровня подстилающего слоя. Исходные данные приведены в табл.П1.6. Схема к задаче представлена на рис.15.

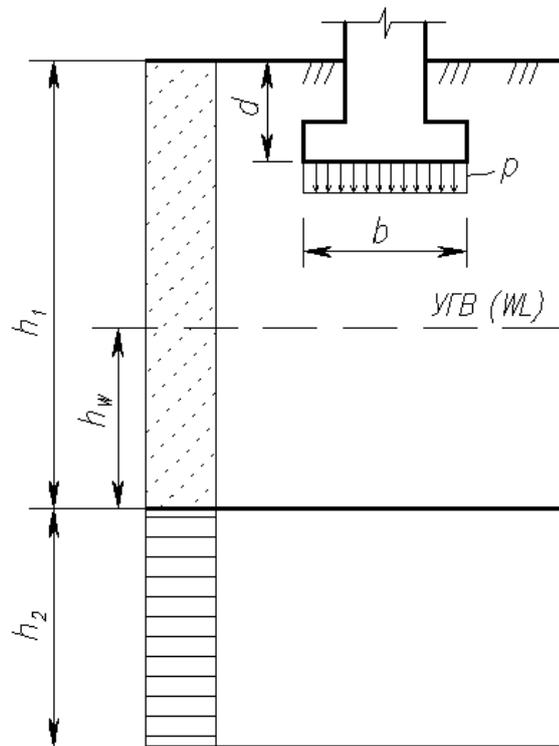


Рис. 15. Схема к задаче №6

Указания к решению. Осадку основания фундамента с использованием расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства определяют методом послойного суммирования по формуле:

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i}) h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zy,i} h_i}{E_{e,i}}, \quad (24)$$

где β – безразмерный коэффициент, равный 0,8;

$\sigma_{zp,i}$ – среднее значение вертикального нормального напряжения от внешней нагрузки в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, кПа;

h_i – толщина i -го слоя грунта, м, принимаемая не более 0,4 ширины фундамента;

E_i – модуль деформации i -го слоя грунта, кПа;

$\sigma_{z\gamma,i}$ – среднее значение вертикального напряжения в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, от собственного веса, выбранного при отрывке котлована, кПа;

n – число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

При расчете осадки фундамента, возводимых в котлованах глубиной менее 5 м, в формуле (24) второе слагаемое допускается не учитывать.

Для прямоугольных, круглых и ленточных фундамента значения вертикальных напряжений от внешней нагрузки σ_{zp} , на глубине z от подошвы фундамента по вертикали, проходящей через центр подошвы, определяют по формуле:

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot p, \quad (25)$$

где α – коэффициент, принимаемый для ленточных фундамента ($l/b \geq 10$) по табл. 5.8 [6] или табл.П2.4 настоящих методических указаний в зависимости от относительной глубины ξ , равной $\xi = \frac{2z}{b}$;

p – среднее давление под подошвой фундамента, кПа.

Вертикальное напряжение от собственного веса грунта на отметке подошвы фундамента $\sigma_{z\gamma}$, на глубине z от подошвы фундамента определяют по формуле:

$$\sigma_{z\gamma} = \alpha \cdot \sigma_{zg,0}, \quad (26)$$

где α – то же, что и в формуле (25);

$\sigma_{zg,0}$ – вертикальное напряжение от собственного веса грунта на отметке подошвы фундамента, кПа.

$$\sigma_{zg,0} = \gamma' \cdot d, \quad (27)$$

где γ' – удельный вес грунта, расположенного выше подошвы, кН/м³;

d – глубина заложения фундамента, м.

Вертикальное эффективное напряжение от собственного веса грунта σ_{zg} , на границе слоя, расположенного на глубине z от подошвы фундамента, определяется по формуле:

$$\sigma_{zg} = \gamma'd + \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i - u, \quad (28)$$

где γ' – средний удельный вес грунта, расположенного выше подошвы фундамента, кН/м³;

d – глубина заложения фундамента, м.

γ_i, h_i – соответственно удельный вес, кН/м³, и толщина i -го слоя грунта, залегающего выше границы слоя на глубине z от подошвы фундамента, м;

u – поровое давление на рассматриваемой границе слоя, кПа.

Для неводонасыщенных грунтов поровое давление принимается равным нулю ($u=0$).

Удельный вес грунтов, залегающих ниже уровня подземных вод, должен приниматься с учетом взвешивающего действия воды при коэффициенте фильтрации слоя грунта больше 1×10^{-5} м/сут и $I_L > 0,25$ (для глинистых грунтов).

При расположении ниже уровня грунтовых вод слоя грунта с коэффициентом фильтрации менее 1×10^{-5} м/сут и $I_L < 0,25$ (для глинистых грунтов) его удельный вес принимается без учета взвешивающего действия воды, для определения в этом слое и ниже его следует учитывать давление столба воды, расположенного выше этого слоя.

Нижнюю границу сжимаемой толщи основания принимают на глубине $z=H_c$, где выполняется условие $\sigma_{zp} = 0,5 \cdot \sigma_{zg}$.

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

Пример расчета.

Дано: $b = 1,4$ м, $d = 1,6$ м, $p = 0,28$ МПа, $h_1 = 3,5$ м, $\gamma_1 = 18,5$ кН/м³, $\gamma_{s1} = 26,6$ кН/м³,

$W_1 = 14,1\%$, $E_{01} = 13$ МПа, $h_2 = 4,5$ м, $\gamma_2 = 20,2$ кН/м³, $E_{02} = 31$ МПа, $h_w = 1,2$ м.

Вычисляем ординаты эпюр природного давления σ_{zg} и вспомогательной эпюры $0,5\sigma_{zg}$:

– на уровне поверхности земли

$$\sigma_{zg} = 0, \quad 0,5\sigma_{zg} = 0;$$

– на уровне подошвы фундамента

$$\sigma_{zg0} = \gamma_1 \cdot d = 18,5 \cdot 1,6 = 29,6 \text{ кПа}, \quad 0,5\sigma_{zg0} = 14,8 \text{ кПа};$$

– на уровне поверхности грунтовых вод

$$\sigma_{zg1} = \sigma_{zg0} + \gamma_1(h_1 - d - h_w) = 29,6 + 18,5 \cdot 0,7 = 42,6 \text{ кПа}, \quad 0,5\sigma_{zg1} = 21,3 \text{ кПа};$$

– на границе первого слоя с учетом взвешивающего действия воды

$$\gamma_{sb1} = \frac{\gamma_{s1} - \gamma_w}{1 + e_1} = \frac{26,6 - 10}{1 + 0,64} = 10,12 \text{ кН/м}^3,$$

$$\text{где } e_1 = \frac{\gamma_{s1}}{\gamma_1} \cdot (1 + W) - 1 = \frac{26,6}{18,5} \cdot (1 + 0,141) - 1 = 0,64,$$

$$\sigma_{zg2}(\sigma_{zg,w}) = \sigma_{zg1} + \gamma_{sb1} \cdot h_w = 42,6 + 10,12 \cdot 1,2 = 54,7 \text{ кПа}, \quad 0,5\sigma_{zg2} = 27,4 \text{ кПа}.$$

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

$$\sigma_w = \gamma_w \cdot h_w = 10,0 \cdot 1,2 = 12 \text{кПа}.$$

Тогда полное вертикальное напряжение, действующее на кровлю глины:

$$\sigma'_{zg2} = \sigma_{zg2} + \sigma_w = 54,7 + 12 = 66,7 \text{кПа}, \quad 0,5\sigma'_{zg2} = 33,4 \text{кПа}.$$

На границе второго слоя:

$$\sigma_{zg3} = \sigma'_{zg2} + \gamma_2 h_2 = 66,7 + 20,2 \cdot 4,5 = 157,6 \text{кПа}, \quad 0,5\sigma_{zg3} = 78,8 \text{кПа}.$$

Определяем значения и строим эпюры вертикальных напряжений от внешней нагрузки и от собственного веса, вынутого в котловане грунта.

Разбиваем толщу грунта под подошвой полосы нагружения на элементарные слои толщиной

$$\Delta_i = 0,4b = 0,4 \cdot 1,4 = 0,56 \text{м}.$$

Для удобства все вычисления ведем в табличной форме (табл.8).

Таблица 8

Наименование грунта	z_i , м	Δ_i , м	$\xi_i = 2z/b$	α_i	$\sigma_{zp,i}$, кПа	$\sigma_{zp,i}^{cp}$, кПа	$\sigma_{zy,i}$, кПа	$\sigma_{zy,i}^{cp}$, кПа	$\sigma_{zp,i}^{cp} - \sigma_{zy,i}^{cp}$	E_{oi} , кПа
песок	0,00		0,0	1,000	280,0		29,6			13000
	0,56	0,56	0,8	0,881	246,7	263,4	26,1	27,9	235,5	
	1,12	0,56	1,6	0,642	179,8	213,3	19,0	22,6	190,7	
	1,68	0,56	2,4	0,477	133,6	156,7	14,1	16,6	140,2	
	1,90	0,22	2,7	0,434	121,5	127,6	12,9	13,5	114,1	
глина	2,24	0,34	3,2	0,374	104,7	113,1	11,1	12,0	101,1	31000
	2,80	0,56	4,0	0,306	85,7	95,2	9,1	10,1	85,1	
	3,36	0,56	4,8	0,258	72,2	79,0	7,6	8,4	70,6	
	3,92	0,56	5,6	0,223	62,4	67,3	6,6	7,1	60,2	
	4,48	0,56	6,4	0,196	54,9	58,7	5,8	6,2	52,5	
	5,04	0,56	7,2	0,175	49,0	52,0	5,2	5,5	46,5	
	5,60	0,56	8,0	0,158	44,2	46,6	4,7	5,0	41,7	

Расчет осадки ведем в пределах сжимаемого слоя (на глубину H_c):

$$s = \frac{0,8}{13000} (235,5 \cdot 0,56 + 190,7 \cdot 0,56 + 140,2 \cdot 0,56 + 114,1 \cdot 0,22) + \frac{0,8}{31000} (101,1 \cdot 0,34 + 85,1 \cdot 0,56 + 70,6 \cdot 0,56 + 60,2 \cdot 0,22 + 52,5 \cdot 0,56) = 0,026 \text{м}.$$

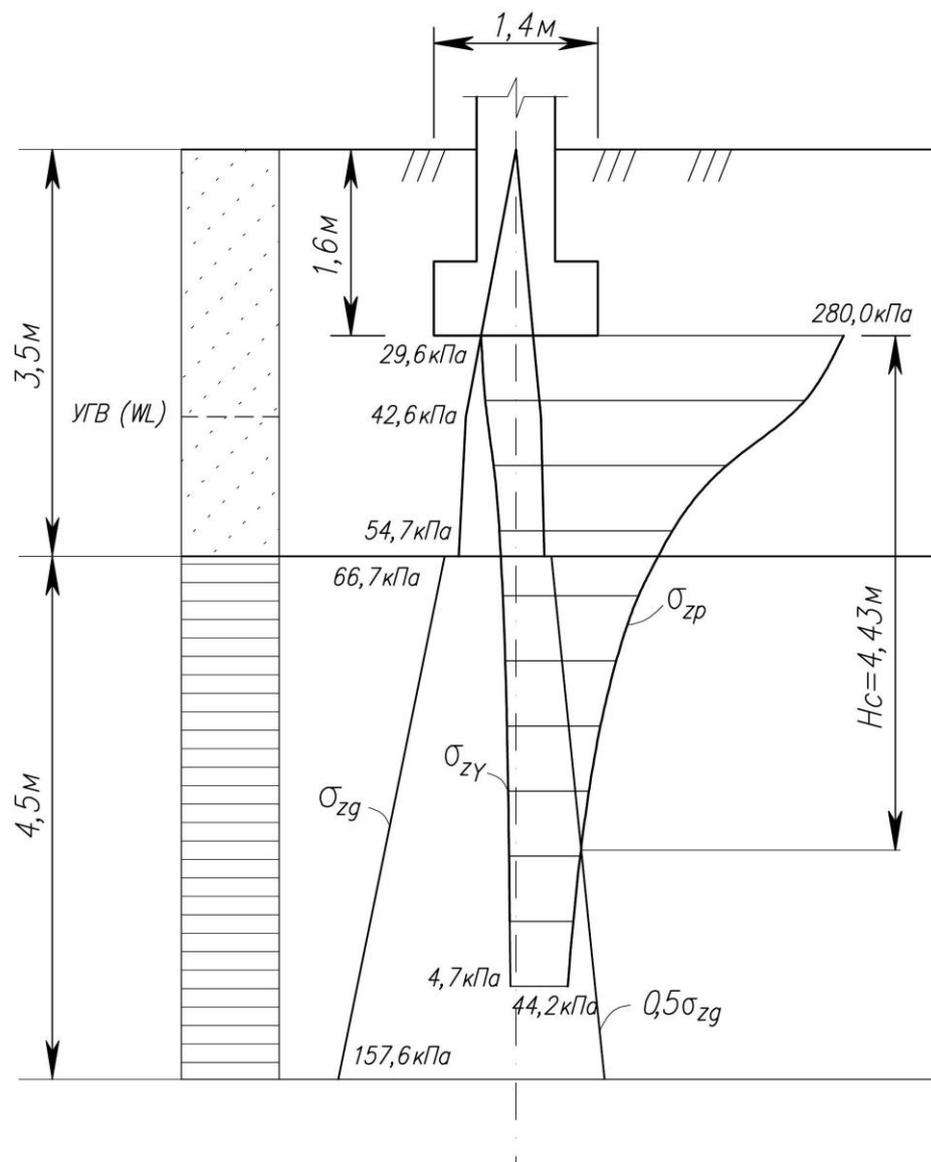


Рис.16. Схема к расчету осадки (к задаче №6)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышев М.В., Болдырев Г.Г. Механика грунтов, основания и фундаменты / М.: АСВ, 2009.
2. Мангушев Р.А., Карлов В.Д., Сахаров И.И. Механика грунтов / М.: АСВ, 2009. – 264с.
3. Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В., Тер-Мартirosян З.Г., Чернышев С.Н. Механика грунтов, основания и фундаменты / Под ред. С.Б.Ухова. – М.: Высшая школа, 2005. - 528с.
4. Бартоломей А.А. Механика грунтов: Учебник. – М.: АСВ, 2003 - 304с.
5. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
6. СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. Минрегион России. – М.:НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 2011. – 164с.

Таблица П1.1

Исходные данные для задачи №1

№ п/п	N_1 , кН	N_2 , кН	N_3 , кН	L_1 , м	L_2 , м	d , м
	(по 1-ой цифре шифра)	(по 3-ей цифре шифра)	(по 2-ой цифре шифра)	(по 3-ей цифре шифра)		(по 1-ой цифре шифра)
1	1700	600	1550	3	3	1
2	1100	600	1200	1	2	2
3	1500	700	1900	2	3	3
4	1800	800	1400	3	1	1
5	1100	700	1800	3	2	2
6	1650	500	1250	2	3	3
7	1000	700	1300	2	2	1
8	1500	800	1500	3	1	2
9	1300	600	1400	1	2	3
0	1900	800	1850	3	1	1

Таблица П1.2

Исходные данные для задачи №2

№ п/п	c_1 , м	d_1 , м	c_2 , м	d_2 , м	P_1 , кПа	P_2 , кПа	L , м	Расчетная вертикаль
	(по 2-ой цифре шифра)		(по 3-ей цифре шифра)		(по 2-ой цифре шифра)		(по 1-ой цифре шифра)	(по 3-ей цифре шифра)
1	2,5	1,9	3,3	2,3	280	310	4,8	M_1
2	3,3	2,3	4,0	2,4	240	350	3,3	M_2
3	2,9	2,6	3,5	2,5	320	290	3,5	M_3
4	2,6	2,1	5,0	2,4	340	380	3,0	M_1
5	2,5	1,9	6,0	2,8	290	330	3,8	M_2
6	2,2	2,2	3,0	2,4	260	360	3,0	M_3
7	1,9	1,9	2,9	2,6	280	320	3,2	M_1
8	2,5	2,1	4,0	2,4	310	410	3,4	M_2
9	2,7	1,9	3,5	2,5	320	340	3,2	M_3
0	5,0	2,4	6,0	2,4	380	320	4,0	M_1

Таблица П1.3

Исходные данные для задачи №3

№ п/п	b , м	z , м	P_1 , кПа	P_2 , кПа	Расчетная вертикаль
	(по 2-ой цифре шифра)		(по 3-ей цифре шифра)		(по 1-ой цифре шифра)
1	3,00	1,00	120	220	M_1
2	5,00	3,00	180	280	M_2
3	4,00	2,00	220	320	M_3
4	5,00	2,00	260	360	M_4
5	6,00	4,00	140	240	M_5
6	4,00	2,00	160	260	M_1
7	6,00	3,00	240	340	M_2
8	5,00	4,00	150	250	M_3
9	4,00	2,00	130	230	M_4
0	3,00	1,00	210	310	M_5

Таблица П1.4

Исходные данные для задачи №4

№ п/п	H , м	h , м	φ , град	ρ , г/см ³	c , МПа	q , МПа
	(по 2-ой цифре шифра)		(по 3-ей цифре шифра)		(по 2-ой цифре шифра)	(по 1-ой цифре шифра)
1	6,00	1,80	16	2,05	0,016	0,15
2	8,00	2,20	19	1,98	0,018	0,22
3	7,00	2,00	17	2,02	0,015	0,16
4	5,00	1,90	18	2,09	0,021	0,15
5	9,00	2,50	21	2,08	0,023	0,18
6	4,00	1,60	20	1,97	0,019	0,12
7	6,00	1,90	14	2,06	0,014	0,24
8	10,00	3,20	22	1,98	0,022	0,25
9	8,00	2,30	23	1,96	0,025	0,15
0	7,00	2,40	19	2,04	0,025	0,14

Таблица П1.5

Исходные данные для задачи №5

№ п/п	Высота грунтового откоса H , м	Удельный вес грунта откоса и его основания γ , кН/м ³	Угол внутреннего тре- ния грунта откоса и его основания φ , град	Удельное сцепление грунта откоса и его основания c , кПа	Заложение грунтового откоса m
	(по 2-ой цифре шифра)		(по 3-ей цифре шифра)		(по 1-ой цифре шифра)
I	2	4	5	6	3
1	9,0	19,6	20	19	0,7
2	13,0	21,0	19	22	1,8
3	15,0	19,8	17	17	0,9
4	14,0	21,0	20	20	1,2
5	10,0	20,0	16	55	0,8
6	11,0	20,5	15	45	1,3
7	15,0	19,9	19	49	1,9
8	7,0	19,5	18	18	1,0
9	12,0	20,0	22	20	1,7
0	6,0	19,5	21	23	2,0

Таблица П1.6

Исходные данные для задачи №6

№ п/п	b , м	d , м	p , МПа	h_1 , м	ρ_1 , г/см ³	ρ_{s1} , г/см ³	W_1 , %	E_{01} , МПа	h_2 , м	ρ_2 , г/см ³	E_{02} , МПа	h_w , м
	(по 2-ой цифре шифра)			(по 3-ей цифре шифра)					(по 2-ой цифре шифра)			(по 1-ой цифре шифра)
1	2,40	1,30	0,38	3,20	1,98	2,65	12,4	24	7,60	2,01	28	1,60
2	1,20	1,50	0,18	2,80	1,89	2,66	9,8	17	8,60	1,95	18	1,20
3	2,80	1,40	0,36	3,60	2,05	2,65	11,8	15	7,50	1,92	38	1,10
4	1,60	1,60	0,28	3,50	2,09	2,66	14,1	13	6,70	2,02	31	1,30
5	1,40	1,20	0,26	3,10	1,99	2,67	10,6	16	7,20	1,89	32	1,50
6	2,00	1,60	0,32	4,60	2,02	2,66	13,3	18	9,40	1,97	23	2,60
7	3,20	1,20	0,41	5,20	2,09	2,67	15,2	28	8,20	2,06	42	2,30
8	2,40	1,50	0,31	3,90	2,01	2,65	12,9	21	9,90	1,91	29	1,70
9	1,60	1,30	0,22	4,30	1,94	2,65	10,2	19	7,90	2,08	20	2,40
0	2,00	1,70	0,27	4,10	1,96	2,66	11,2	13	7,80	1,99	24	1,80

Справочные таблицы

Таблица П2.1

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

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

Таблица П2.2

Значения коэффициента k_c

z/b	Значения a/b										
	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3
0,0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
0,2	0,2486	0,2489	0,2490	0,2491	0,2491	0,2491	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492
0,4	0,2401	0,2420	0,2429	0,2434	0,2437	0,2439	0,2440	0,2441	0,2442	0,2442	0,2442
0,6	0,2229	0,2275	0,2300	0,2315	0,2324	0,2329	0,2333	0,2335	0,2337	0,2338	0,2339
0,8	0,1999	0,2075	0,2120	0,2147	0,2165	0,2176	0,2183	0,2188	0,2192	0,2194	0,2196
1,0	0,1752	0,1851	0,1911	0,1955	0,1981	0,1999	0,2012	0,2020	0,2026	0,2031	0,2034
1,2	0,1516	0,1626	0,1705	0,1758	0,1793	0,1818	0,1836	0,1849	0,1858	0,1865	0,1870
1,4	0,1608	0,1423	0,1508	0,1569	0,1613	0,1644	0,1667	0,1685	0,1696	0,1705	0,1712
1,6	0,1123	0,1241	0,1329	0,1396	0,1445	0,1482	0,1509	0,1530	0,1545	0,1557	0,1567
1,8	0,0969	0,1083	0,1172	0,1241	0,1294	0,1334	0,1365	0,1389	0,1408	0,1423	0,1434
2,0	0,0840	0,0947	0,1034	0,1103	0,1158	0,1202	0,1236	0,1263	0,1284	0,1300	0,1314
2,2	0,0732	0,0832	0,0917	0,0984	0,1039	0,1084	0,1120	0,1149	0,1172	0,1191	0,1205
2,4	0,0642	0,0734	0,0813	0,0879	0,0934	0,0979	0,1016	0,1047	0,1071	0,1092	0,1108
2,6	0,0566	0,0651	0,0725	0,0788	0,0842	0,0887	0,0924	0,0955	0,0981	0,1003	0,1020
2,8	0,0502	0,0580	0,0649	0,0709	0,0761	0,0805	0,0842	0,0875	0,0900	0,0923	0,0942
3,0	0,0447	0,0519	0,0583	0,0640	0,0680	0,0732	0,0769	0,0801	0,0828	0,0851	0,0870
3,2	0,0401	0,0467	0,0526	0,0580	0,0627	0,0668	0,0704	0,0735	0,0762	0,0786	0,0806
3,4	0,0361	0,0421	0,0477	0,0527	0,0571	0,0611	0,0646	0,0677	0,0704	0,0727	0,0747
3,6	0,0326	0,0382	0,0433	0,0480	0,0523	0,0561	0,0594	0,0624	0,0651	0,0674	0,0694
3,8	0,0296	0,0348	0,0395	0,0439	0,0479	0,0516	0,0548	0,0577	0,0603	0,0626	0,0646
4,0	0,0270	0,0318	0,0362	0,0403	0,0441	0,0474	0,0507	0,0535	0,0560	0,0588	0,0603
4,2	0,0247	0,0291	0,0333	0,0371	0,0407	0,0430	0,0469	0,0496	0,05214	0,0543	0,0563
4,4	0,0227	0,0268	0,0306	0,0343	0,0376	0,0407	0,0436	0,0462	0,0485	0,0507	0,0527
4,6	0,0209	0,0247	0,0283	0,0317	0,0348	0,0378	0,0405	0,0432	0,0453	0,0474	0,0493
4,8	0,0193	0,0229	0,0262	0,0294	0,0324	0,0352	0,0378	0,0402	0,0424	0,0444	0,0463
5,0	0,0179	0,0212	0,0243	0,0274	0,0302	0,0328	0,0353	0,0376	0,0397	0,0417	0,0435
6,0	0,0127	0,0151	0,0174	0,0196	0,0218	0,0238	0,0257	0,0276	0,0293	0,0310	0,0325
7,0	0,0094	0,0112	0,0130	0,0147	0,0164	0,0180	0,0195	0,0210	0,0224	0,0238	0,0251
8,0	0,0073	0,0087	0,0101	0,0114	0,0127	0,0140	0,0153	0,0165	0,0176	0,0187	0,0198
9,0	0,0058	0,0069	0,0080	0,0091	0,0102	0,0112	0,0122	0,0132	0,0142	0,0152	0,0161
10,0	0,0047	0,0056	0,0065	0,0074	0,0083	0,0092	0,0100	0,0109	0,0117	0,0125	0,0132

Таблица П2.3.1

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

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

Таблица П2.3.2

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

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

Таблица П2.4

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

Примечания: 1. Здесь l – длина фундамента, b – ширина (диаметр) фундамента.
2. Для промежуточных значений ξ и η коэффициент α определяется по интерполяции.

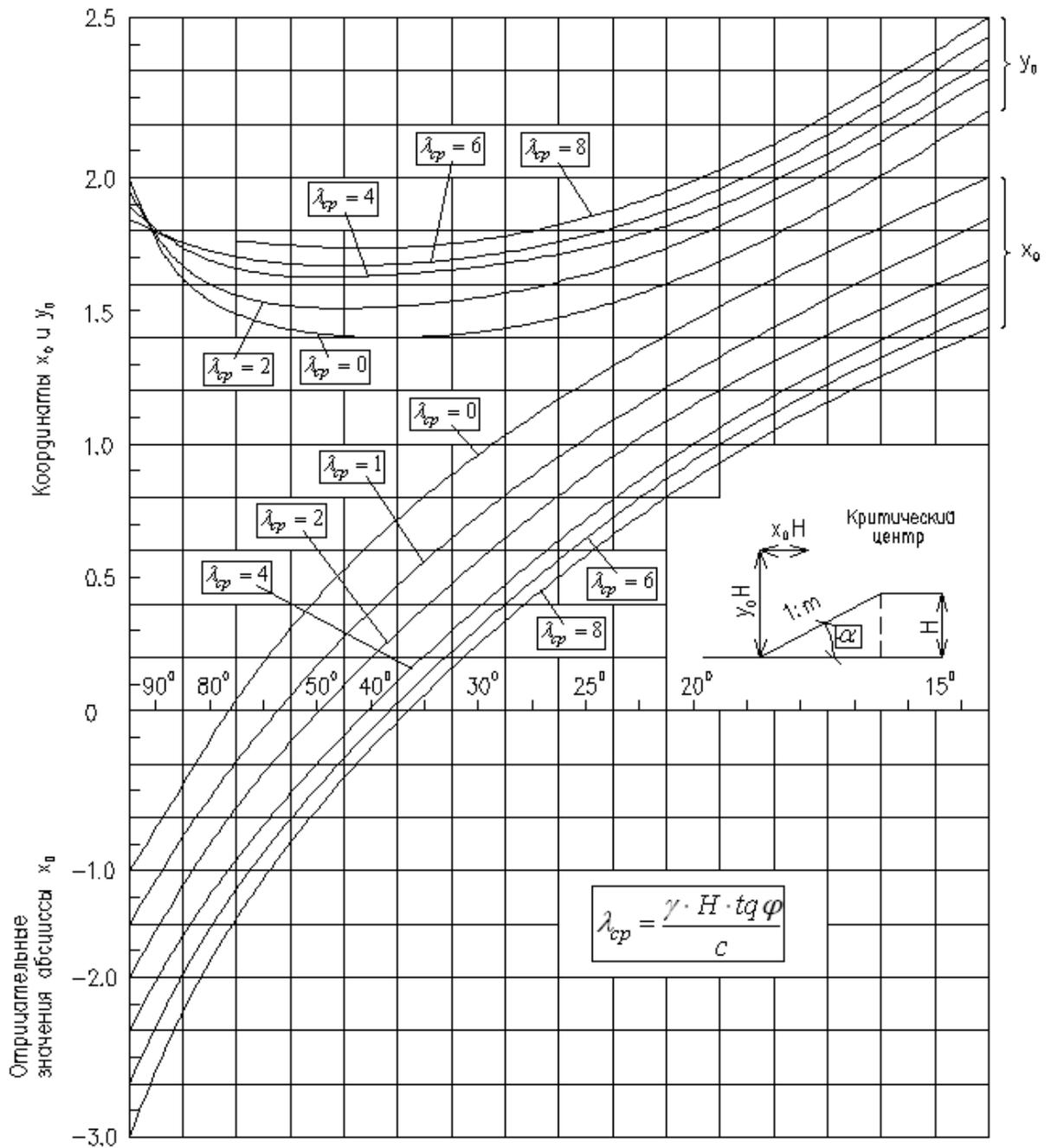


Рис. П2.1. График Ямбу для определения координат x и y центра O , наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения с минимальным коэффициентом устойчивости K_y :

H – высота откоса; x_0 , y_0 – безразмерные величины, устанавливаемые по графику в зависимости от угла откоса α (определяется по заданному заложению откоса m) и λ_{sp}

МЕХАНИКА ГРУНТОВ.
Учебно-методическое пособие к выполнению расчетно-графической работы
для студентов заочной формы обучения
по направлению 08.03.01 «Строительство»

Даниль Ринафович САФИН

Рубис Раисович ХАСАНОВ

Редакционно-издательский отдел
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Подписано в печать

Заказ №

Бумага тип №1

Печать офсетная

Тираж 100 экз.

Формат 60×84/16

Усл.-печ.л.

Учетн.-изд.л.

Печатно-множительный отдел КГАСУ
420043, Казань, Зеленая, 1