



УДК 624.131 (076)

ББК 38.58

Б 18

Байдакова, Е. В. Механика грунтов, основания и фундаменты: методические указания к выполнению курсовой работы для студентов очной и заочной форм обучения по направлению: природообустройство и водопользование / Е. В. Байдакова, Н. А. Романеев, В.Н. Кровопускова. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2023. - 66 с.

Даны методические рекомендации для выполнения курсовой работы по курсу «Механика грунтов, основания и фундаменты, для студентов очной и заочной форм обучения по направлению: природообустройство и водопользование.

Брянский государственный аграрный университет

Сост. **Е.В. Байдакова**, кандидат технических наук, доцент кафедры природопользование и водопользование;

**Н.А. Романеев**, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса;

**В.Н. Кровопускова**, ст. преподаватель кафедры природопользование и водопользование.

**Рецензенты:** д.т.н., профессор Кисель Ю.Е., к.т.н., доцент Безик В.А.

*Рекомендованы к изданию методической комиссией института энергетики и природопользования Брянского ГАУ, протокол № 6 от «28» марта 2023 года.*

© Брянский ГАУ, 2023

© Байдакова Е.В., 2023

© Романеев Н.А., 2023

© Кровопускова В.Н. 2023

## Содержание

1.	Содержание работы и требования к ее оформлению.....	4
2.	Задачи к работе.....	5
3.	Методические указания к выполнению расчетно-графической работы.....	9
4.	Список использованных источников.....	65

Цель работы: закрепить теоретические знания, полученные за период самостоятельного изучения курса; научиться применять эти знания при инженерном решении задач теории механики грунтов и фундаментостроения; научиться пользоваться действующим СНиП, руководствами, справочниками и литературными источниками.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЯ К ЕЁ ОФОРМЛЕНИЮ

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

Работа составлена в соответствии с программой курса и содержит восемь задач по следующим разделам:

- природа грунтов и их физико-механические свойства (задача 1);
- определение напряжений в грунтах от действия внешних сил (задача 2-4);
- теория предельного напряженного состояния и ее приложения (задача 5,6);
- деформация грунтов и расчет осадок фундаментов (задачи 7,8).

Данные для выполнения работы помещены в таблицах. Варианты задания выбираются из этих таблиц по следующему правилу:

задачи 1-4 выполняют по варианту, соответствующему последней цифре учебного шифра;

задачи 5-8 выполняются по варианту, соответствующему предпоследней цифре учебного шифра. Например, если учебный шифр 05-175, то задачи 1-4 выполняются по варианту 5, а задачи 5-8 - по варианту 7.

Работу необходимо выполнить в срок, установленный индивидуальным планом-графиком на учебный год, и с настоящими указаниями направить на кафедру для рецензирования.

Работа, выполненная по варианту, не соответствующему учебному шифру и без соблюдения указанных далее требований к оформлению, на рецензирование не принимается. Она должна содержать расчетно-пояснительную записку, включающую в себя:

- исходные данные, теоретическую часть, отражающую методику расчета;
- расчетные схемы со всеми необходимыми обозначениями и размерами;
- список литературы.

Записка выполняется на стандартных листах бумаги формата А4. Текст следует набирать на компьютере, аккуратно, разборчиво. Все расчетные данные должны сопровождаться единицами измерения. Расчеты необходимо сопровождать ссылками на соответствующую литературу. Список используемой литературы, включая методические указания, поместить в конце записки.

Расчетные схемы выполнять в карандаше на листах чертежной или милли-

метровой бумаги того же формата, что и листы расчетно-пояснительной записки. Необходимо помнить, что данные расчета и схемы должны быть строго увязаны между собой, так как они составляют одно целое. Листы записки должны иметь сквозную нумерацию и быть сброшюрованы.

Если в работе допущены ошибки, и она возвращена без допуска к защите, необходимо сделать исправления на свободных листах с припиской «исправление ошибок». Перечеркивание и исправление написанного текста, расчетов и расчетных схем недопустимо.

## Задача 1

По результатам лабораторных исследований свойств грунтов:

а) построить для образцов песчаного грунта интегральную кривую гранулометрического состава, определить тип грунта по гранулометрическому составу и степени его неоднородности, произвести оценку плотности сложения и степени влажности; для образцов глинистого грунта определить тип грунта и разновидность по консистенции, произвести предварительную оценку способности грунта к просадочному и набухающему явлениям (исходные данные приведены в таблице 1);

б) построить график компрессионной зависимости вида  $e = f(p)$ ; определить для заданного расчетного интервала давлений коэффициент относительной сжимаемости грунта и охарактеризовать степень его сжимаемости (исходные данные приведены в таблице 2);

в) построить график сдвига вида  $\tau = f(p)$ ; определить методом наименьших квадратов нормативное значение угла внутреннего трения  $\varphi_n$  грунта (исходные данные приведены в таблице 3).

Таблица 1

№ варианта	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Влажность, д. ед.			Содержание частиц, % при их размере, мм							
	частиц грунта, $\rho_s$	грунта, $\rho$	природная, $w$	на границе		более 2,0	2,0 ÷ 0,5	0,5 ÷ 0,25	0,25 ÷ 0,1	0,1 ÷ 0,05	0,05 ÷ 0,01	0,01 ÷ 0,005	менее 0,005
				раскаты вания, $w_p$	теку чести $w_l$								
1	2,71(2,66)	1,85(2,02)	0,21(0,91)	0,30	0,43	2,5	19,5	25,0	20,0	20,0	10,0	2,0	1,0
2	2,73(2,65)	1,89(1,72)	0,20(0,07)	0,21	0,32	0	12,0	16,0	45,0	12,0	8,0	6,0	1,0
3	2,71(2,66)	1,93(1,75)	0,19(0,12)	0,24	0,37	0	15,1	40,2	33,9	5,7	1,5	0,7	2,9
4	2,71(2,68)	1,87(1,89)	0,22(0,08)	0,19	0,31	1,0	31,0	25,0	10,0	27,4	3,6	1,2	0,8
5	2,74(2,67)	1,89(1,79)	0,21(0,17)	0,27	0,47	1,2	21,5	22,7	19,3	12,6	16,1	3,6	3,0
6	2,71(2,67)	1,91(1,92)	0,20(0,13)	0,20	0,29	1,2	17,0	20,0	45,0	13,3	2,0	0,9	0,6
7	2,70(2,65)	1,89(1,82)	0,17(0,12)	0,26	0,39	0,4	13,4	32,2	31,4	8,6	9,8	2,6	1,6
8	2,71(2,68)	1,94(1,72)	0,19(0,10)	0,24	0,44	4,5	37,5	15,8	14,5	10,2	8,0	8,0	1,5
9	2,70(2,66)	1,95(1,86)	0,18(0,14)	0,27	0,37	2,1	24,5	29,4	15,4	9,6	10,2	7,8	1,0
0	2,74(2,65)	1,94(1,89)	0,19(0,15)	0,23	0,42	3,8	29,8	29,4	18,5	11,5	4,6	1,1	1,3

Примечание: 1. Данные по гранулометрическому составу относятся к песчаным грунтам.

2. Значения основных физических характеристик песчаных грунтов  $\rho_s, \rho, w$  находятся в скобках.

Таблица 2

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

Таблица 3

Номер варианта	Предельное сопротивление образца грунта сдвигу $\tau_i$ МПа, при нормальном удельном давлении, передаваемом на образце грунта $P_i$ , МПа					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
1	0,070	0,135	0,199	0,265	0,330	0,398
2	0,064	0,125	0,184	0,250	0,315	0,375
3	0,060	0,095	0,139	0,175	0,206	0,256
4	0,074	0,150	0,225	0,300	0,375	0,450
5	0,080	0,120	0,139	0,175	0,219	0,233
6	0,072	0,140	0,212	0,280	0,356	0,428
7	0,040	0,075	0,101	0,130	0,156	0,188
8	0,074	0,145	0,221	0,290	0,344	0,438
9	0,050	0,085	0,131	0,175	0,219	0,263
10	0,104	0,145	0,180	0,220	0,256	0,293

## Методические указания к выполнению расчетно-графической работы

### Задача 1

а) Для определения степени неоднородности гранулометрического состава песчаных грунтов строят интегральную кривую гранулометрического состава. При построении интегральной кривой гранулометрического состава грунта по оси абсцисс откладывают логарифмы размеров фракций (чтобы не получать отрицательных логарифмов, размеры частиц берут в микронах), а по оси ординат - их процентное содержание в грунте. При этом по оси ординат последовательно откладывают количество частиц каждого размера, начиная с самого мелкого. Величина ординаты для каждого размера частиц получается суммированием с данными для предыдущих размеров, так что каждая точка графика дает суммарное количество частиц данного размера и размеров, меньше данного. Полученная кривая носит название интегральной кривой гранулометрического состава (рисунок 8).

По степени неоднородности гранулометрического состава  $C_u$  крупнообломочные грунты и пески подразделяют согласно пункта 2.2 [1]. Степень неоднородности гранулометрического состава  $C_u$  определяется по формуле:

$$C_u = d_{60} / d_{10},$$

Где  $d_{60}$ ,  $d_{10}$  - диаметры частиц, меньше которых в данном грунте содержится соответственно 60 и 10% частиц по массе (принимаются по интегральной кривой гранулометрического состава грунта).

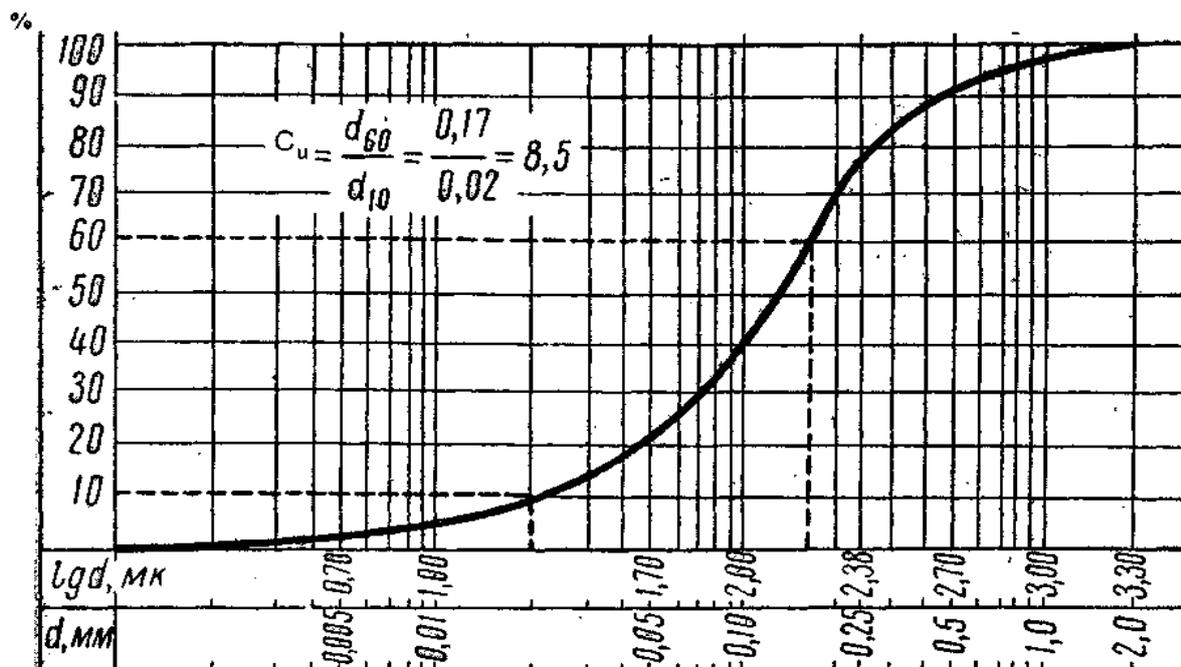


Рисунок 1 - Интегральная кривая гранулометрического состава

По гранулометрическому составу крупнообломочные грунты и пески подразделяют согласно таблице Б. 10 [1].

Важным показателем оценки свойств песчаных грунтов является плотность их сложения. Пески по плотности их сложения подразделяются в зависимости от коэффициента пористости в естественном состоянии на плотные, средней плотности и рыхлые согласно таблице Б. 18 [1].

Значения коэффициента пористости  $e$  можно определить по формуле:

$$e = \frac{\rho_s(1+w)}{\rho} - 1,$$

где  $\rho_s$  - плотность частиц грунта;

$w$  - природная влажность;

$\rho$  - плотность грунта.

Разновидность песчаных грунтов по степени влажности  $S_r$  определяется согласно таблице Б. 17 [1]:

$$S_r = \frac{\rho_s * w}{e * \rho_w},$$

Где  $\rho_w$  - плотность воды ( $\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$ ).

Тип глинистого грунта определяется по числу пластичности  $I_p$  согласно таблице Б. 11[1].

$$I_p = (w_L - w_p) * 100\%,$$

где  $w_L$  - влажность на границе текучести,

$w_p$  - влажность на границе раскатывания.

Разновидность глинистого грунта по консистенции устанавливает показатель текучести  $I_L$ :

$$I_p = w - w_p / w_L - w_p,$$

где  $w$  - природная влажность грунта,

$w_L$  - влажность на границе текучести,

$w_p$  влажность на границе раскатывания.

По показателю текучести  $I_L$  глинистые грунты подразделяют согласно таблице Б.14 [1].

При предварительной оценке к просадочным грунтам относятся лёссы и лёссовидные грунты (а также некоторые виды покровных глинистых грунтов) со степенью влажности  $S_r < 0,8$ , для которых значение показателя  $\Pi$  меньше значений, приведенных в таблице 11.

Показатель  $\Pi$  определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{e_1 - e}{1 + e},$$

$e_1$  - коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе текучести  $w_L$ :

$$e_1 = w_L * \frac{\rho_s}{\rho_w};$$

$e$  - коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности.

Таблица 4

Число пластичности $I_p$	$1 < I_p < 10$	$10 < I_p < 14$	$14 < I_p < 22$
Показатель $\Pi$	0,1	0,17	0,24

При предварительной оценке к набухающим от намачивания водой относятся глинистые грунты, для которых показатель  $\Pi > 0,3$ .

б) Для определения коэффициента относительной сжимаемости грунта необходимо вычислить коэффициенты пористости грунта  $e_i$  соответствующие заданным ступеням нагрузки по формуле  $e_i = e_0 - \frac{S_i}{h}(1 + e_0)$ ,

где  $e_i$  - искомое значение коэффициента пористости грунта после уплотнения поднагрузкой  $P_i$ ;

$e_0$  - начальное (до уплотнения) значение коэффициента пористости грунта;

$S_i$  - полная осадка образца грунта при заданной нагрузке  $P_i$ , измеренной от начала загрузки;

$h$  - начальная (до уплотнения) высота образца грунта ( $h = 25$  мм).

Коэффициент относительной сжимаемости грунта  $m_v$  определяется по формуле:

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0},$$

где  $m_0 = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1}$  - коэффициент сжимаемости грунта для заданного расчётного интервала давлений. Здесь  $e_1$  и  $e_2$  - коэффициенты пористости, соответствующие давлениям  $P_1$  и  $P_2$ ;

$P_2 - P_1 = P$  - заданный расчётный интервал давлений (действующее давление).

Значения коэффициента относительной сжимаемости  $m_v$  позволяют судить о сжимаемости грунтов. При  $m_v > 0,5$  МПа<sup>-1</sup> - грунт сильносжимаемый;

$0,05 \text{ МПа}^{-1} < m_v < 0,5 \text{ МПа}^{-1}$  - среднесжимаемый;

$m_v < 0,05 \text{ МПа}^{-1}$  – малосжимаемый.

в) Для определения нормативного значения угла внутреннего трения  $\varphi_n$  следует пользоваться формулами, составленными на основе законов математической статистики [2]:

$$tg\varphi_n = \frac{1}{\Delta} \left( n \sum_{i=1}^n \tau_i P_i - \sum_{i=1}^n \tau_i \sum_{i=1}^n P_i \right),$$

где n - число экспериментов по определению сопротивления грунта сдвигу  $\tau_i$ , при давлении  $P_i$ ;

$\Delta$  - общий знаменатель этого выражения, определяемый по формуле:

$$\Delta = n \sum_{i=1}^n P_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2.$$

Примеры определения нормативного значения угла внутреннего трения  $\varphi_n$  и построения графиков сдвига приведены в литературе [8].

### Пример решения задача 1 вариант 3

По результатам лабораторных исследований свойств грунтов:

а) построить для образцов песчаного грунта интегральную кривую гранулометрического состава, определить тип грунта.

Таблица 5 – Исходные данные к задаче 1

Плотность, г/см <sup>3</sup>		Влажность, д. ед.		
частиц грунта, $\rho_s$	грунта, $\rho$	природная, w	на границе	
			раскатывания, $w_p$	текучести, $w_L$
2,71(2,66)	1,93(1,75)	0,19(0,12)	0,24	0,37

Продолжение таблицы 5

Содержание частиц, %, при их размере, мм							
бо- лее 2,0	2,0 ÷ 0,5	0,5 ÷ 0,25	0,25 ÷ 0,1	0,1 ÷ 0,05	0,05 ÷ 0,01	0,01 ÷ 0,005	ме- нее 0,005
0	15,1	40,2	33,9	5,7	1,5	0,7	2,9

Примечание: 1. Данные по гранулометрическому составу относятся к песчаным грунтам.

2. Значения основных физических характеристик песчаных грунтов  $\rho_s$ ,  $\rho$ ,  $w$  находятся в скобках.

### Решение

Полученная кривая носит название интегральной кривой гранулометрического состава (рисунок 1).

1. 0,005 мм – 2,9%
2. 0,01 мм – 0,7% + 2,9% = 3,6%
3. 0,05 мм – 1,5% + 3,6% = 5,1%
4. 0,1 мм – 5,7% + 5,1% = 10,8%
5. 0,25 мм – 33,9% + 10,8% = 44,7%
6. 0,5 мм – 40,2% + 44,7% = 84,9%
7. 2 мм – 15,1% + 84,9% = 100%

По степени неоднородности гранулометрического состава  $C_u$  крупнообломочные грунты и пески подразделяют согласно пункту 2.2 [1]. Степень неоднородности гранулометрического состава  $C_u$  определяется по формуле:  
$$C_u = d_{60}/d_{10},$$

где  $d_{60}$ ,  $d_{10}$  – диаметры частиц, мм, меньше которых в данном грунте содержится соответственно 60 и 10% частиц по массе (принимаются по интегральной кривой гранулометрического состава грунта).

$$C_u = 0,341/0,098 = 3,480$$

Так как  $C_u = 3,480$ , то по степени неоднородности гранулометрического состава грунт является неоднородным.

По гранулометрическому составу крупнообломочные грунты и пески подразделяют согласно таблице Б.10 [1].

Суммарный состав частиц крупнее 2 мм составляет 0 %, значит, песок не гравелистый; суммарный состав частиц крупнее 0,5 мм составляет 15,1 %, значит, песок не крупный; суммарный состав частиц крупнее 0,25 мм составляет 55,3 %, значит, грунт относится к песку средней крупности.

Значения коэффициента пористости  $e$  можно определить по формуле:

$$e = \frac{\rho_s(1+w)}{\rho} - 1,$$

где  $\rho_s$  – плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>;

$w$  – природная влажность, д. ед.;

$\rho$  – плотность грунта, г/см<sup>3</sup>.

Для песчаного грунта:  $e = \frac{2,66(1+0,12)}{1,75} - 1 = 0,702$

Для глинистого грунта:  $e = \frac{2,71(1+0,19)}{1,93} - 1 = 0,671$

По коэффициенту пористости можем сказать, что наш грунт рыхлый.

Разновидность песчаных грунтов по степени влажности  $S_r$  определяется согласно таблице Б.17 [1].  $S_r = \frac{\rho_s \cdot w}{e \cdot \rho_w}$ ,

где  $\rho_w$  – плотность воды ( $\rho_w = 1$  г/см<sup>3</sup>).  $S_r = \frac{2,66 \cdot 0,12}{0,702 \cdot 1} = 0,455$

Степень влажности равна 0,455, следовательно, грунт малой степени водонасыщения. Вывод: исследуемый грунт является песком средней крупности, неоднородным, рыхлым и малой степени водонасыщения.

Тип глинистого грунта определяется по числу пластичности  $I_p$  согласно таблице Б.11 [1].  $I_p = (w_L - w_p) \cdot 100\%$ ,

где  $w_L$  – влажность на границе текучести, д. ед.;

$w_p$  – влажность на границе раскатывания, д. ед.

$I_p = (0,37 - 0,24) \cdot 100\% = 13\%$

Разновидность глинистого грунта по консистенции устанавливает показатель текучести  $I_L$ :  $I_L = (w - w_p)/(w_L - w_p)$ ,

где  $w$  – природная влажность грунта, д. ед.;

$w_L$  – влажность на границе текучести, д. ед.;  $w_p$  – влажность на границе раскатывания, д. ед.

$I_L = (0,19 - 0,24)/(0,37 - 0,24) = -0,38$  По показателю текучести  $I_L$  глинистые грунты подразделяют согласно таблице Б.14 [1].

По полученным результатам можем сделать вывод, что исследуемый грунт по числу пластичности – суглинок, по показателю текучести – суглинок твердый.

При предварительной оценке к просадочным грунтам относятся лёссы и лёссовидные грунты (а также некоторые виды покровных глинистых грунтов)

со степенью влажности  $S_r < 0,8$ , для которых значение показателя П меньше значений, приведенных в таблице 2. Показатель П определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{e_L - e}{1 + e},$$

где  $e_L$  – коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе текучести  $w_L$ :  $e_L = w_L \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w}$ ;

$e$  – коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности.

$$e_L = 0,37 \cdot \frac{2,71}{1} = 1,00 \quad \Pi = \frac{1,00 - 0,671}{1 + 0,671} = 0,197$$

Таблица 6

Число пластичности $I_p$	$1 < I_p < 10$	$10 < I_p < 14$	$14 < I_p < 22$
Показатель П	0,1	0,17	0,24

При предварительной оценке к набухающим от намачивания водой относятся глинистые грунты, для которых показатель  $\Pi > 0,3$ .

По результату  $\Pi = 0,197 > 0,17$ , следовательно, грунт непросадочный;  $\Pi = 0,197 < 0,3$  – грунт ненабухающий.

Вывод: по исследованиям мы определили, что этот грунт суглинок, твердый, непросадочный, ненабухающий.

б) построить график компрессионной зависимости вида  $e = f(p)$ ; определить для заданного расчетного интервала давлений коэффициент относительной сжимаемости грунта и охарактеризовать степень его сжимаемости (исходные данные приведены в таблице 3).

Таблица 7 – Исходные данные к задаче 1

Начальный коэффициент пористости грунта $e_0$	Полная осадка образца грунта $S_i$ , мм, при нагрузке $P_i$ , МПа					Расчетный интервал давлений, МПа	
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	$P_1$	$P_2$
0,673	0,20	0,35	0,66	0,86	1,12	0,05	0,3

Для определения коэффициента относительной сжимаемости грунта

необходимо вычислить коэффициенты пористости грунта  $e_i$ , соответствующие заданным ступеням нагрузки по формуле:

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

где  $e_i$  – искомое значение коэффициента пористости грунта после уплотнения под нагрузкой  $P_i$ ;

$e_0$  – начальное (до уплотнения) значение коэффициента пористости грунта;

$S_i$  – полная осадка образца грунта при заданной нагрузке  $P_i$ , измеренной от начала загрузения, мм;

$h$  – начальная (до уплотнения) высота образца грунта ( $h = 25$  мм).

$$e_1 = 0,673 - \frac{0,20}{25}(1 + 0,673) = 0,660$$

$$e_2 = 0,673 - \frac{0,35}{25}(1 + 0,673) = 0,650$$

$$e_3 = 0,673 - \frac{0,66}{25}(1 + 0,673) = 0,629$$

$$e_4 = 0,673 - \frac{0,86}{25}(1 + 0,673) = 0,615$$

$$e_5 = 0,673 - \frac{1,12}{25}(1 + 0,673) = 0,598$$

Коэффициент относительной сжимаемости грунта  $m_\theta$  определяется по формуле:

$$m_\theta = \frac{m_0}{1+e_0},$$

где  $m_0 = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1}$  – коэффициент сжимаемости грунта для заданного расчётного интервала давлений, МПа<sup>-1</sup>.

$e_1$  и  $e_2$  – коэффициенты пористости, соответствующие давлениям  $P_1$  и  $P_2$ ;

$P_2 - P_1 = P$  – заданный расчётный интервал давлений (действующее давление),

$$m_0 = \frac{0,660 - 0,615}{0,3 - 0,05} = 0,18 \text{ МПа}^{-1}$$

$$m_{\theta} = \frac{0,18}{1 + 0,673} = 0,108 \text{ МПа}^{-1}$$

Числовые значения коэффициента относительной сжимаемости  $m_{\theta}$  позволяют судить о сжимаемости грунтов.

При  $m_{\theta} > 0,5 \text{ МПа}^{-1}$  – грунт сильносжимаемый;

$0,05 \text{ МПа}^{-1} < m_{\theta} < 0,5 \text{ МПа}^{-1}$  – среднесжимаемый;

$m_{\theta} < 0,05 \text{ МПа}^{-1}$  – малосжимаемый.

По значению коэффициента относительной сжимаемости  $m_{\theta}$  можно судить, что представленный грунт среднесжимаемый.

в) построить график сдвига вида  $\tau = f(p)$ ; определить методом наименьших квадратов нормативное значение угла внутреннего трения  $\varphi_n$  грунта (исходные данные приведены в таблице 4).

Таблица 8 – Исходные данные к задаче 1

Предельное сопротивление образца грунта сдвигу $\tau_i$ , МПа, при нормальном удельном давлении, передаваемом на образце грунта $P_i$ , МПа					
0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
0,060	0,095	0,139	0,175	0,206	0,256

Для определения нормативного значения угла внутреннего трения  $\varphi_n$  следует пользоваться формулами, составленными на основе законов математической статистики [2]:  $\text{tg}\varphi_n = \frac{1}{\Delta} (n \sum_{i=1}^n \tau_i P_i - \sum_{i=1}^n \tau_i \sum_{i=1}^n P_i)$ ,

где  $n$  – число экспериментов по определению сопротивления грунта сдвигу  $\tau_i$  при давлении  $P_i$ ;

$\Delta$  – общий знаменатель этого выражения, определяемый по формуле:

$$\Delta = n \sum_{i=1}^n P_i^2 - (\sum_{i=1}^n P_i)^2.$$

Таблица 9

№	$P_i$ , МПа	$P_i^2$	$\tau_i$ , МПа	$\tau_i P_i$
1	0,1	0,01	0,060	0,006
2	0,2	0,04	0,095	0,019
3	0,3	0,09	0,139	0,042
4	0,4	0,16	0,175	0,07
5	0,5	0,25	0,206	0,103
6	0,6	0,36	0,256	0,154
$\Sigma$	2,1	0,91	0,931	0,394

$$\Delta = 6 \cdot 0,91 - 2,1^2 = 1,05$$

$$\operatorname{tg}\varphi_n = \frac{1}{1,05}(6 \cdot 0,394 - 0,931 \cdot 2,1) = 0,389$$

$$\varphi_n = \operatorname{arctg} 0,389 = 21^\circ$$

Определяем сцепление угла по формуле:

$$c = \tau - P \operatorname{tg}\varphi_n.$$

$$c = 0,256 - 0,6 \cdot 0,389 = 0,02, \text{ МПа}$$

## Задача 2

К горизонтальной поверхности массива грунта в одном приложены три вертикальные сосредоточенные силы  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  (рисунок 1);  $r_1$  и  $r_2$  - расстояния между осями действия сил. Определить значения вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_z$  от совместного действия сосредоточенных сил в точках массива грунта, расположенных в плоскости действия сил:

- 1) по вертикали 1-1, проходящей через точку приложения силы  $P_2$ ;
- 2) по горизонтали 2-2, проходящей на расстоянии  $z$  от поверхности массива грунта.

Точки по вертикали расположены по поверхности на расстоянии 100, 200, 400, 600 см. Точки по горизонтали расположить вправо и влево от оси действия силы  $P_2$  на расстоянии 0, 100, 300 см. По вычисленным напряжениям и заданным осям построить эпюры распределения напряжений  $\sigma_z$ . Исходные данные в таблице 4, схема к расчету на рисунке 2.

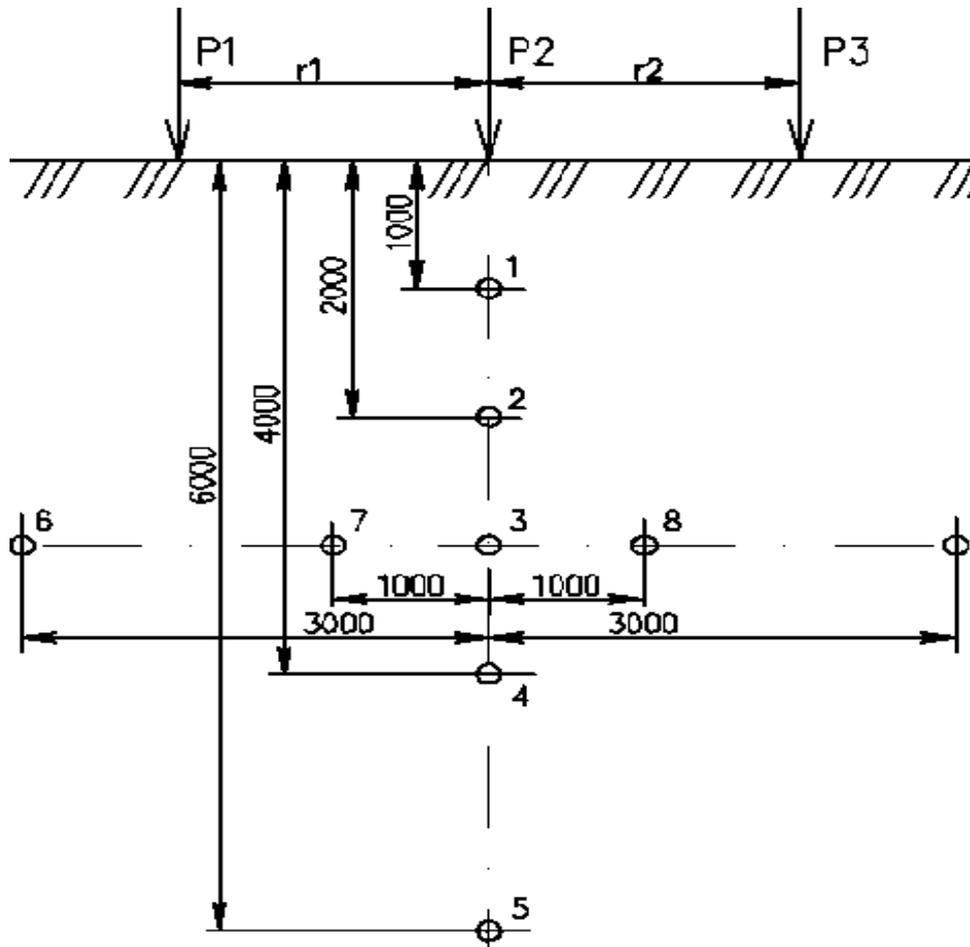


Рисунок 2 - Расчетная схема к задаче 2

Таблица 10

Номер варианта	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$P_3$ , кН	$r_1$ , см	$r_2$ , см	$z$ , см
1	1200	800	1400	100	200	300
2	1200	800	1200	200	200	250
3	1900	600	1300	300	100	200
4	1300	500	1500	300	200	300
5	1100	700	1800	200	300	200
6	1800	800	1600	300	200	150
7	1000	600	1100	100	100	200
8	1800	800	1400	300	100	300
9	1500	700	1900	200	300	250
0	1300	600	1300	200	200	200

## Решение

Для случая, когда к горизонтальной поверхности массива грунта приложено несколько сосредоточенных сил ( $P_1, P_2, P_3, \dots, P_i$ ), значения вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_{z_i}$  в любой точке массива грунта можно опреде-

лить суммированием составляющих напряжений от действия каждой силы в отдельности с использованием зависимости:

$$\sigma_{z_i} = \frac{1}{z_i^2} (k_1 P_1 + k_2 P_2 + k_3 P_3 + \dots + k_n P_n) = \frac{1}{z_i^2} \sum_{i=1}^n k_i P_i,$$

где  $k_i$  – коэффициент, являющийся функцией отношения  $r_i/z_i$ .

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

$z_i$  – глубина рассматриваемой точки от плоскости приложения сосредоточенной силы, м. Значения коэффициента  $k$  принимаются по таблице 3.1. [5].

Для случая, когда к горизонтальной поверхности грунта приложено несколько сосредоточенных сил ( $P_1, P_2, P_3, \dots P_i$ ), значения вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_{z_i}$  в любой точке массива грунта можно определить суммированием составляющих напряжений от действия каждой силы в отдельности с использованием зависимости:

$$\sigma = \frac{1}{z_i^2} (k_1 P_1 + k_2 P_2 + k_3 P_3 + \dots + k_n P_n) = \frac{1}{z_i^2} \sum_{i=1}^n k_i P_i,$$

где  $k_i$  - коэффициент, являющийся функцией отношения  $r/z$ .

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

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

Значения коэффициента  $k_i$  приведены в таблице 12. При построении расчётной схемы и эпюр напряжений следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 0,05 МПа в 1 см. Примеры расчёта приведены в [7].

Таблица 11 - Значение коэффициента  $k$  для вычисления сжимающих напряжений от действия сосредоточенной силы в зависимости от соотношения  $r/z$

$r/z$	$K$	$r/z$	$K$	$r/z$	$K$	$r/z$	$K$
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	0,346a	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

Пример выполнения задачи 2, вариант 3

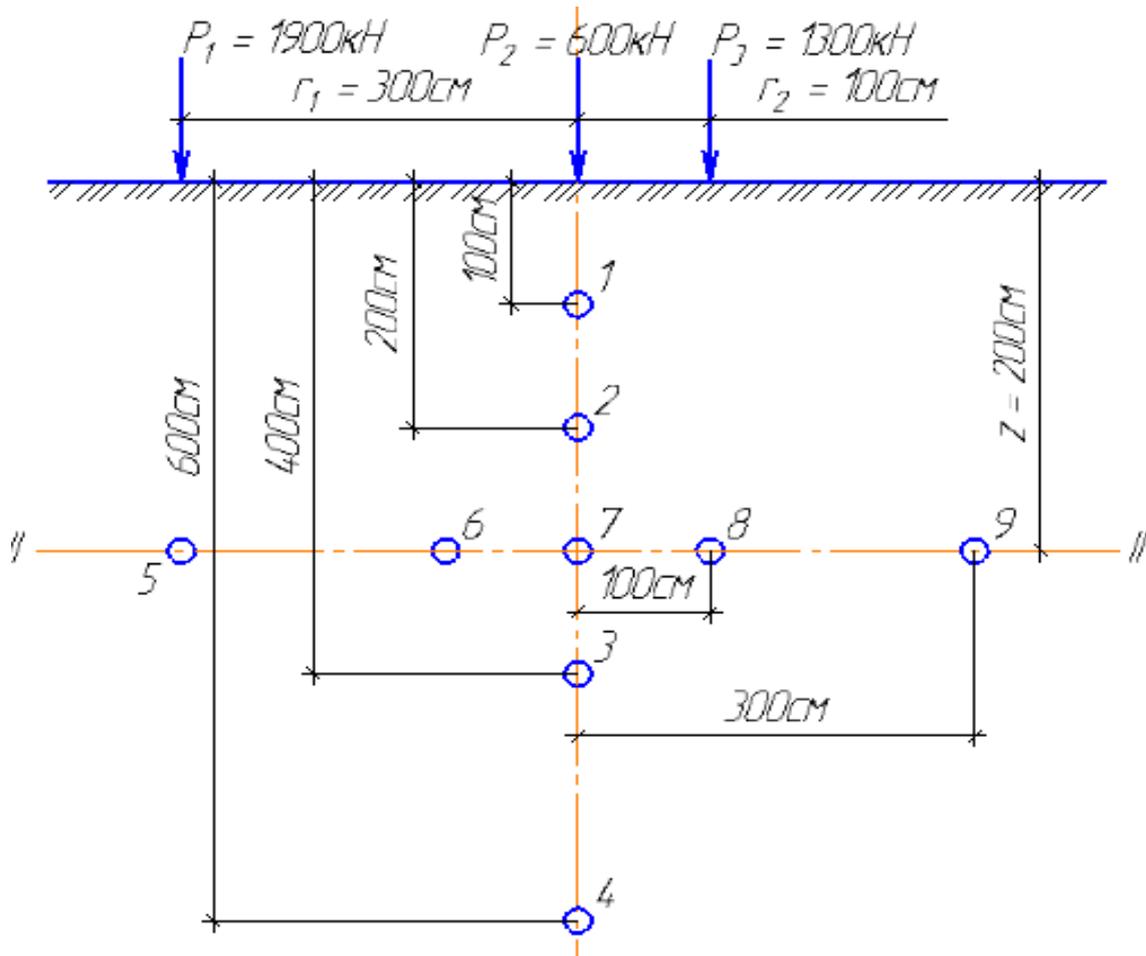


Рисунок 3 – Расчетная схема к задаче 2

К горизонтальной поверхности массива грунта в одном створе приложены три вертикальные сосредоточенные силы  $P_1 = 1900 \text{ кН}$ ,  $P_2 = 600 \text{ кН}$ ,  $P_3 = 1300 \text{ кН}$  (рисунок 3);  $r_1 = 300 \text{ см}$  и  $r_2 = 100 \text{ см}$  – расстояния между осями действия сил. Определить значения вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_z$  от совместного действия сосредоточенных сил в точках массива грунта, расположенных в плоскости действия сил:

- 1) по вертикали I-I, проходящей через точку приложения силы  $P_2$ ;
- 2) по горизонтали II-II, проходящей на расстоянии  $z = 200 \text{ см}$  от поверхности массива грунта.

Точки по вертикали расположить от поверхности на расстоянии 100, 200, 400, 600 см. Точки по горизонтали расположить вправо и влево от оси действия

силы  $P_2$  на расстоянии 0, 100, 300 см. По вычисленным напряжениям и заданным осям построить эпюры распределения напряжений  $\sigma_z$ . Схема к расчету представлена на рисунке 2.

Точка 1

$$z_1 = 100 \text{ см} = 1 \text{ м}; r_1^{(1)} = 300 \text{ см} = 3 \text{ м}; r_2^{(1)} = 0; r_3^{(1)} = 100 \text{ см} = 1 \text{ м}.$$

$$\frac{r_1^{(1)}}{z_1} = \frac{3}{1} = 3 \rightarrow k_1^{(1)} = 0,0015; \quad \frac{r_2^{(1)}}{z_1} = 0 \rightarrow k_2^{(1)} = 0,4775;$$

$$\frac{r_3^{(1)}}{z_1} = \frac{1}{1} = 1 \rightarrow k_3^{(1)} = 0,0844.$$

$$\sigma_{z_1} = \frac{1}{1^2} (0,0015 \cdot 1,9 + 0,4775 \cdot 0,6 + 0,0844 \cdot 1,3) = 0,3991 \text{ МПа}$$

Точка 2

$$z_2 = 200 \text{ см} = 2 \text{ м}; r_1^{(2)} = 300 \text{ см} = 3 \text{ м}; r_2^{(2)} = 0; r_3^{(2)} = 100 \text{ см} = 1 \text{ м}.$$

$$\frac{r_1^{(2)}}{z_2} = \frac{3}{2} = 1,5 \rightarrow k_1^{(2)} = 0,0251; \quad \frac{r_2^{(2)}}{z_2} = 0 \rightarrow k_2^{(2)} = 0,4775;$$

$$\frac{r_3^{(2)}}{z_2} = \frac{1}{2} = 0,5 \rightarrow k_3^{(2)} = 0,2733.$$

$$\sigma_{z_2} = \frac{1}{2^2} (0,0251 \cdot 1,9 + 0,4775 \cdot 0,6 + 0,2733 \cdot 1,3) = 0,1724 \text{ МПа}$$

Точка 3

$$z_3 = 400 \text{ см} = 4 \text{ м}; r_1^{(3)} = 300 \text{ см} = 3 \text{ м}; r_2^{(3)} = 0; r_3^{(3)} = 100 \text{ см} = 1 \text{ м}.$$

$$\frac{r_1^{(3)}}{z_3} = \frac{3}{4} = 0,75 \rightarrow k_1^{(3)} = 0,1565; \quad \frac{r_2^{(3)}}{z_3} = 0 \rightarrow k_2^{(3)} = 0,4775;$$

$$\frac{r_3^{(3)}}{z_3} = \frac{1}{4} = 0,25 \rightarrow k_3^{(3)} = 0,4103.$$

$$\sigma_{z_3} = \frac{1}{4^2} (0,1565 \cdot 1,9 + 0,4775 \cdot 0,6 + 0,4103 \cdot 1,3) = 0,0698 \text{ МПа}$$

Точка 4

$$z_4 = 600 \text{ см} = 6 \text{ м}; r_1^{(4)} = 300 \text{ см} = 3 \text{ м}; r_2^{(4)} = 0; r_3^{(4)} = 100 \text{ см} = 1 \text{ м}.$$

$$\frac{r_1^{(4)}}{z_4} = \frac{3}{6} = 0,5 \rightarrow k_1^{(4)} = 0,2733; \quad \frac{r_2^{(4)}}{z_4} = 0 \rightarrow k_2^{(4)} = 0,4775;$$

$$\frac{r_3^{(4)}}{z_4} = \frac{1}{6} = 0,17 \rightarrow k_3^{(4)} = 0,4446.$$

$$\sigma_{z_4} = \frac{1}{6^2} (0,2733 \cdot 1,9 + 0,4775 \cdot 0,6 + 0,4446 \cdot 1,3) = 0,0384 \text{ МПа}$$

Точка 5

$$z_5 = 200 \text{ см} = 2 \text{ м}; r_1^{(5)} = 0; r_2^{(5)} = 300 \text{ см} = 3 \text{ м}; r_3^{(5)} = 400 \text{ см} = 4 \text{ м}.$$

$$\frac{r_1^{(5)}}{z_5} = 0 \rightarrow k_1^{(5)} = 0,4775; \frac{r_2^{(5)}}{z_5} = \frac{3}{2} = 1,5 \rightarrow k_2^{(5)} = 0,0251;$$

$$\frac{r_3^{(5)}}{z_5} = \frac{4}{2} = 2 \rightarrow k_3^{(5)} = 0,0085.$$

$$\sigma_{z_5} = \frac{1}{2^2} (0,4775 \cdot 1,9 + 0,0251 \cdot 0,6 + 0,0085 \cdot 1,3) = 0,2333 \text{ МПа}$$

Точка 6

$$z_6 = 200 \text{ см} = 2 \text{ м}; r_1^{(6)} = 200 \text{ см} = 2 \text{ м}; r_2^{(6)} = 100 \text{ см} = 1 \text{ м};$$

$$r_3^{(6)} = 200 \text{ см} = 2 \text{ м}.$$

$$\frac{r_1^{(6)}}{z_6} = \frac{2}{2} = 1 \rightarrow k_1^{(6)} = 0,0844;$$

$$\frac{r_2^{(6)}}{z_6} = \frac{1}{2} = 0,5 \rightarrow k_2^{(6)} = 0,2733;$$

$$\frac{r_3^{(6)}}{z_6} = \frac{2}{2} = 1 \rightarrow k_3^{(6)} = 0,0844.$$

$$\sigma_{z_6} = \frac{1}{2^2} (0,0844 \cdot 1,9 + 0,2733 \cdot 0,6 + 0,0844 \cdot 1,3) = 0,1085 \text{ МПа}$$

Точка 7

$$z_7 = 200 \text{ см} = 2 \text{ м}; r_1^{(7)} = 300 \text{ см} = 3 \text{ м}; r_2^{(7)} = 0; r_3^{(7)} = 100 \text{ см} = 1 \text{ м}.$$

$$\frac{r_1^{(7)}}{z_7} = \frac{3}{2} = 1,5 \rightarrow k_1^{(7)} = 0,0251;$$

$$\frac{r_2^{(7)}}{z_7} = 0 \rightarrow k_2^{(7)} = 0,4775;$$

$$\frac{r_3^{(7)}}{z_7} = \frac{1}{2} = 0,5 \rightarrow k_3^{(7)} = 0,2733.$$

$$\sigma_{z_7} = \frac{1}{2^2} (0,0251 \cdot 1,9 + 0,4775 \cdot 0,6 + 0,2733 \cdot 1,3) = 0,1724 \text{ МПа}$$

Точка 8

$$z_8 = 200 \text{ см} = 2 \text{ м}; r_1^{(8)} = 400 \text{ см} = 4 \text{ м}; r_2^{(8)} = 100 \text{ см} = 1 \text{ м}; r_3^{(8)} = 0.$$

$$\frac{r_1^{(8)}}{z_8} = \frac{4}{2} = 2 \rightarrow k_1^{(8)} = 0,0085;$$

$$\frac{r_2^{(8)}}{z_8} = \frac{1}{2} = 0,5 \rightarrow k_2^{(8)} = 0,2733;$$

$$\frac{r_3^{(8)}}{z_8} = 0 \rightarrow k_3^{(8)} = 0,4775.$$

$$\sigma_{z_8} = \frac{1}{2^2} (0,0085 \cdot 1,9 + 0,2733 \cdot 0,6 + 0,4775 \cdot 1,3) = 0,2002 \text{ МПа}$$

Точка 9

$$z_9 = 200 \text{ см} = 2 \text{ м}; r_1^{(9)} = 600 \text{ см} = 6 \text{ м}; r_2^{(9)} = 300 \text{ см} = 3 \text{ м};$$

$$r_3^{(9)} = 200 \text{ см} = 2 \text{ м}.$$

$$\frac{r_1^{(9)}}{z_0} = \frac{6}{2} = 3 \rightarrow k_1^{(9)} = 0,0015; \quad \frac{r_2^{(9)}}{z_0} = \frac{3}{2} = 1,5 \rightarrow k_2^{(9)} = 0,0251;$$

$$\frac{r_3^{(9)}}{z_0} = \frac{2}{2} = 1 \rightarrow k_3^{(9)} = 0,0844.$$

$$\sigma_{z_0} = \frac{1}{2^2} (0,0015 \cdot 1,9 + 0,0251 \cdot 0,6 + 0,0844 \cdot 1,3) = 0,0319 \text{ МПа}$$

### Задача 3

Горизонтальная поверхность массива грунта по прямоугольным плитам с размерами в плане  $a_1 \times b_1$ , и  $a_2 \times b_2$  нагружена равномерно распределенной вертикальной нагрузкой интенсивностью  $P_1$  и  $P_2$  (рисунок 2). Определить вертикальные составляющие напряжений  $\sigma_z$  от совместного действия внешних нагрузок в точках массива грунта для заданной вертикали, проходящей через одну из точек  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ . Расстояние между осями плит нагружения  $L$ . Точки по вертикали расположить от поверхности на расстояниях 100, 200, 400, 600 см. По вычисленным напряжениям построить эпюру распределения напряжений  $\sigma_z$ .

Исходные данные приведены в таблице 5, схема к расчету на рисунке 2.

Таблица 12

Номер варианта	$L_1$ , см	$b_1$ , см	$L_2$ , см	$b_2$ , см	$P_1$ , МПа	$P_2$ , МПа	$L$ , см	Расчетная вертикаль
1	250	190	330	230	0,28	0,31	280	$M_1$ ,
2	330	230	400	240	0,24	0,35	330	$M_2$ ,
3	290	260	350	250	0,32	0,29	350	$M_2$ ,
4	260	210	500	240	0,34	0,38	300	$M_2$ ,
5	250	190	600	280	0,29	0,33	280	$M_3$ ,
6	220	220	300	240	0,26	0,36	300	$M_2$ ,
7	190	190	290	260	0,28	0,32	320	$M_1$ ,
8	250	210	400	240	0,31	0,41	340	$M_2$ ,
9	270	190	350	250	0,32	0,34	320	$M_3$ ,
0	500	240	600	240	0,38	0,32	400	$M_1$ ,

$l_1$ , см	$b_1$ , см	$l_2$ , см	$b_2$ , см	$P_1$ , МПа	$P_2$ , МПа	$L$ , см
290	260	350	250	0,32	0,29	350

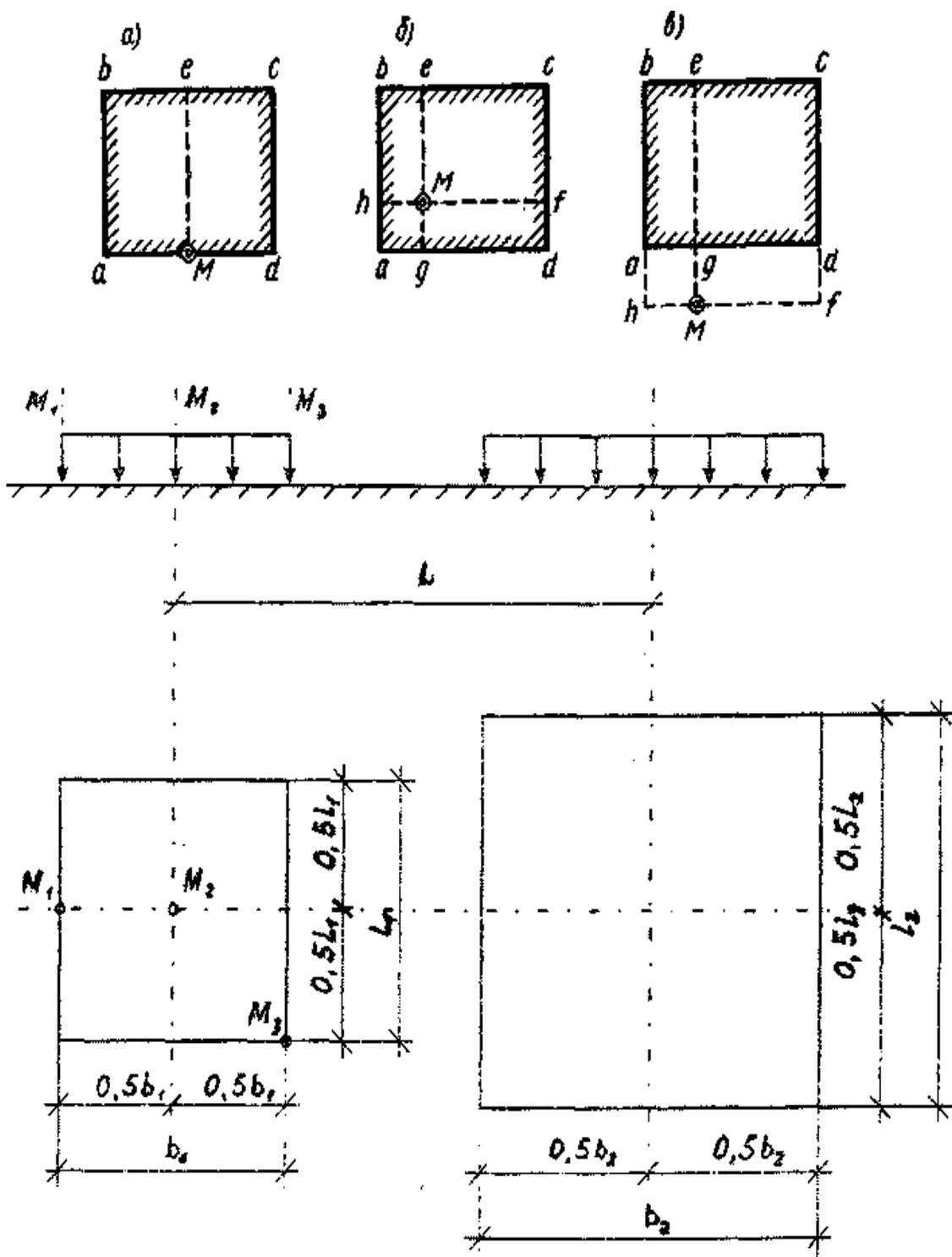


Рисунок 4 - Схема разбивки прямоугольной площади загрузки при распределении напряжений по методу угловых точек

### Решение

Распределение по глубине вертикальных составляющих напряжений  $\sigma_{zc}$  в любой точке массива грунта от действующей равномерно распределённой

нагрузки в пределах или за пределами плит нагружения может быть определено по методу угловых точек по формуле:

$$\sigma_{zc} = k_c \cdot P,$$

где  $k_c$  – коэффициент, определяемый в зависимости от отношения сторон прямоугольной площадки загрузки  $l/b$  ( $l$  – большая сторона,  $b$  – ширина) и отношения  $z/b$  ( $z$  – глубина, на которой определяется напряжение  $\sigma_{zc}$ ), принимается по таблице 3.5. [5];

$P$  – интенсивность равномерно распределённой нагрузки, МПа.

Поясним сказанное, рассмотрев три основных случая:

1) точка  $M$  находится на контуре прямоугольника внешних давлений (рисунок 9, а);

2) точка  $M$  - внутри прямоугольника давлений (рисунок 9, б);

3) точка  $M$  - вне прямоугольника давлений (рисунок 9, в).

4) В первом случае величина  $\sigma_z$  определится как сумма двух угловых напряжений, соответствующих прямоугольникам нагрузки  $Mabe$  и  $Mecd$ , т.е.  
$$\sigma_z = (k_{1c} + k_{2c})P$$

5) Во втором случае необходимо суммировать угловые напряжения от четырех прямоугольных площадей загрузки:  $Mgab$ ,  $Mhbe$ ,  $Mecf$  и  $Mfdg$ , т.е.  
$$\sigma_z = (k_{1c} + k_{2c} + k_{3c} + k_{4c})P$$

6) В третьем случае напряжение в точке  $M$  складывается из суммы напряжений от действия нагрузки по прямоугольникам  $Mhbe$  и  $Mecf$ , взятых со знаком «плюс», и напряжений от действия нагрузки по прямоугольникам  $Mhdf$  и  $Mgdf$ , взятых со знаком «минус», т.е. 
$$\sigma_z = (k_{1c} - k_{2c} - k_{3c} - k_{4c})P$$

Значения коэффициента  $k_{ic}$  приведены в таблице 13. Масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 0,05 МПа в 1 см. Примеры расчёта приведены в [7].

Таблица 13 - Значения коэффициента  $k_{ic}$

$\beta = \frac{z}{b}$	Значения $\alpha = l/b$										
	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	0,249
0,4	0,2401	0,2420	0,2429	0,2434	0,2437	0,2439	0,2440	0,2441	0,2442	0,2442	0,244
0,6	0,2229	0,2275	0,2300	0,2515	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	0,1510	0,1626	0,1705	0,1758	0,1793	0,1818	0,1836	0,1849	0,1858	0,1865	0,1870
1,4	0,1308	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	0,1204	0,1236	0,1263	0,1284	0,1390	0,1314
2,2	0,0732	0,0832	0,0917	0,0984	0,1039	0,1084	0,1120	0,1149	0,1172	0,1191	0,1205
2,4	0,0642	0,0734	0,0813	0,0879	0,0934	0,0979	0,1016	0,1047	0,1071	0,1092	0,1108
2,6	0,0566	0,0651	0,0725	0,0788	0,0842	0,0887	0,0924	0,0955	0,0981	0,1003	0,1020
2,8	0,0502	0,0580	0,0649	0,0709	0,0761	0,0805	0,0842	0,0875	0,0900	0,0923	0,0942
3,0	0,0447	0,0519	0,0583	0,0640	0,0680	0,0732	0,0769	0,0801	0,0828	0,0851	0,0870
3,2	0,0401	0,0467	0,0526	0,0580	0,0627	0,0668	0,0704	0,0735	0,0762	0,0786	0,0806
3,4	0,0361	0,0421	0,0477	0,0527	0,0571	0,0611	0,0646	0,0677	0,0704	0,0727	0,0747
3,6	0,0326	0,0382	0,0433	0,0480	0,0523	0,0561	0,0594	0,0624	0,0651	0,0674	0,0694
3,8	0,0296	0,0348	0,0395	0,0439	0,0479	0,0516	0,0548	0,0577	0,0603	0,0626	0,0646
4,0	0,0270	0,0318	0,0362	0,0403	0,0441	0,0474	0,0507	0,0535	0,0560	0,0588	0,0603
4,2	0,0247	0,0291	0,0333	0,0371	0,0407	0,0430	0,0469	0,0496	0,0521	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	0,0430	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 0,0056	0,0080	0,0091	0,0102	0,0112	0,0122	0,0132	0,0142	0,0152	0,0161
10,0	0,0047		0,0065	0,0074	0,0083	0,0092	0,0100	0,0109	0,0117	0,0125	0,0132

Продолжение таблицы 13

$\beta = \frac{z}{b}$	Значения $\alpha = l/b$										
	3,2	3,4	3,6	3,8	4	5	6	7	8	9	10
0,0	0,2500	0,2500	0,2590	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
0,2	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492
0,4	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	В, 2443	0,2443	0,2443	0,2443
0,6	0,2340	0,2340	0,2341	0,2341'	0,2341	0,2342	0,2342	0,2342	0,2342	0,2342	0,2342
0,8	0,2198	0,2199	0,2199	0,2200.	0,2200	0,2202	0,2202	0,2202	0,2202	0,2202	0,2202
1,0	0,2037	0,2039	0,2040	0,2841	0,2642	0,2044	0,2045	0,2045	0,2046	0,2046	0,2046
1,2	0,1873	0,1876	0,1878	0,1880	0,1882	0,1885	0,1887	0,1888	0,1888	0,1888	0,1888
1,4	0,1718	0,1722	0,1725	0,1728	0,1730	0,1735	0,1738	0,1739	0,1739	0,1739	0,1740
1,6	0,1574	0,1580	0,1584	0,1587	0,1590	0,1598	0,1601	0,1602	0,1603	0,1604	0,1604
1,8	0,1443	0,1450	0,1455	0,1460	0,1463	0,1474	0,1478	0,1480	0,1481	0,1482	0,1482
2,0	0,1324	0,1332	0,1339	0,1345	0,1350	0,1363	0,1368	0,1371	0,1372	0,1373	0,1374
2,2	0,1218	0,1227	0,1235	0,1242	0,1248	0,1264	0,1271	0,1274	0,1276	0,1277	0,1277
2,4	0,1122	0,1133	0,1142	0,1150	0,1156	0,1175	0,1184	0,1188	0,1190	0,1191	0,1192
2,6	0,1035	0,1047	0,1058	0,1066	0,1073	0,1095	0,1106	0,1111	0,1113	0,1115	0,1116
2,8	0,0957	0,0970	0,0982	0,0991	0,0999	0,1024	0,1036	0,1041	0,1045	0,1047	0,1048
3,0	0,0887	0,0901	0,0913	0,0923	0,0931	0,0959	0,0973	0,0980	0,0983	0,0986	0,0987
3,2	0,0823	0,0838	0,0850	0,0861	0,0870	0,0900	0,0916	0,0923	0,0928	0,0930	0,0933

3,4	0,0765	0,0780	0,0793	0,0804	0,0814	0,0847	0,0864	0,0873	0,0877	0,0880	0,0882
3,6	0,0712	0,0728	0,0741	0,0753	0,0763	0,0799	0,0816	0,0826	0,0832	0,0835	0,0837
3,8	0,0664	0,0680	0,0694	0,0706	0,0717	0,0753	0,0773	0,0784	0,0790	0,0794	0,0796
4,0	0,0620	0,0636	0,0650	0,0663	0,0674	0,0712	0,0733	0,0745	0,0752	0,0756	0,0758
4,2	0,0581	0,0596	0,0610	0,0623	0,0634	0,0674	0,0696	0,0709	0,0716	0,0721	0,0724
4,4	0,0544	0,0560	0,0574	0,0586	0,0597	0,0639	0,0622	0,0676	0,0684	0,0689	0,0692
4,6	0,0510	0,0526	0,0540	0,0553	0,0564	0,0606	0,0630	0,0644	0,0654	0,0659	0,0663
4,8	0,0480	0,0495	0,0509	0,0522	0,0533	0,0576	0,0601	0,0616	0,0626	0,063	0,0635
5,0	0,0451	0,0466	0,0480	0,0493	0,0504	0,0547	0,0573	0,0589	0,0599	0,0606	0,0610
6,0	0,0340	0,0353	0,0366	0,0377	0,0388	0,0431	0,0460	0,0479	0,0491	0,0500	0,0506
7,0	0,0263	0,0275	0,0286	0,0296	0,0306	0,0346	0,0376	0,0396	0,0411	0,0421	0,0428
8,0	0,0209	0,0219	0,0228	0,0237	0,0246	0,0283	0,0311	0,0332	0,0348	0,0359	0,0367
9,0	0,0169	0,0178	0,0186	0,0194	0,0202	0,0235	0,0262	0,0282	0,0298	0,0310	0,0319
10,0	0,0140	0,0147	0,0154	0,0162	0,0167	0,0198	0,0222	0,0242	0,0258	0,0270	0,0280

Метод угловых точек для определения сжимающих напряжений  $\sigma_z$  применяют в случае, когда грузовая площадь может быть разбита на такие прямоугольники, чтобы рассматриваемая точка оказалась угловой. Тогда сжимающее напряжение в этой точке будет равно алгебраической сумме напряжений от прямоугольных площадей загрузки, для которых эта точка является угловой.

$$\sigma_{zc} = 2(k_{c_3} P_1 + (k_{c_1} - k_{c_2}) P_2)$$

**Пример выполнения задачи 3**

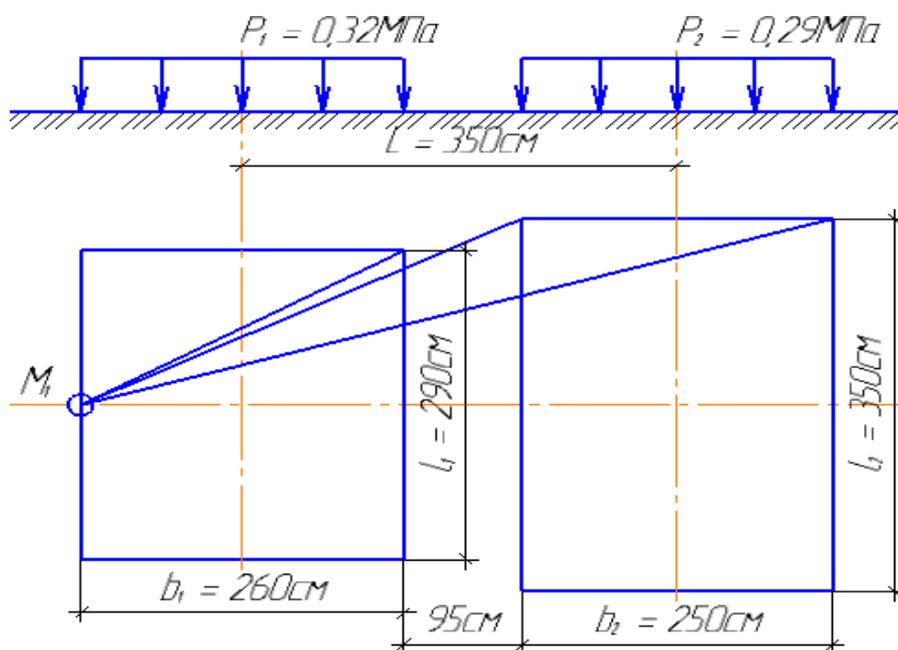


Рисунок 5 - Расчетная схема к задаче 3

Точка 1

$$\alpha_1 = \frac{l}{b} = \frac{605}{175} = 3,46; \beta_1 = \frac{z}{b} = \frac{100}{175} = 0,57 \rightarrow k_{c_1} = 0,236.$$

$$\alpha_2 = \frac{l}{b} = \frac{355}{175} = 2,03; \beta_2 = \frac{z}{b} = \frac{100}{175} = 0,57 \rightarrow k_{c_2} = 0,235.$$

$$\alpha_3 = \frac{l}{b} = \frac{260}{145} = 1,79; \beta_2 = \frac{z}{b} = \frac{100}{145} = 0,69 \rightarrow k_{c_3} = 0,225.$$

$$\sigma_{zc_1} = 2(0,225 \cdot 0,32 + (0,236 - 0,235) \cdot 0,29) = 0,1446 \text{ МПа}$$

Точка 2

$$\alpha_1 = \frac{l}{b} = \frac{605}{175} = 3,46; \beta_1 = \frac{z}{b} = \frac{200}{175} = 1,14 \rightarrow k_{c_1} = 0,193.$$

$$\alpha_2 = \frac{l}{b} = \frac{355}{175} = 2,03; \beta_2 = \frac{z}{b} = \frac{200}{175} = 1,14 \rightarrow k_{c_2} = 0,187.$$

$$\alpha_3 = \frac{l}{b} = \frac{260}{145} = 1,79; \beta_2 = \frac{z}{b} = \frac{200}{145} = 1,38 \rightarrow k_{c_3} = 0,163.$$

$$\sigma_{zc_2} = 2(0,163 \cdot 0,32 + (0,193 - 0,187) \cdot 0,29) = 0,1078 \text{ МПа}$$

Точка 3

$$\alpha_1 = \frac{l}{b} = \frac{605}{175} = 3,46; \beta_1 = \frac{z}{b} = \frac{400}{175} = 2,29 \rightarrow k_{c_1} = 0,119.$$

$$\alpha_2 = \frac{l}{b} = \frac{355}{175} = 2,03; \beta_2 = \frac{z}{b} = \frac{400}{175} = 2,29 \rightarrow k_{c_2} = 0,104.$$

$$\alpha_3 = \frac{l}{b} = \frac{260}{145} = 1,79; \beta_2 = \frac{z}{b} = \frac{400}{145} = 2,76 \rightarrow k_{c_3} = 0,0767.$$

$$\sigma_{zc_3} = 2(0,0767 \cdot 0,32 + (0,119 - 0,104) \cdot 0,29) = 0,0578 \text{ МПа}$$

Точка 4

$$\alpha_1 = \frac{l}{b} = \frac{605}{175} = 3,46; \beta_1 = \frac{z}{b} = \frac{600}{175} = 3,43 \rightarrow k_{c_1} = 0,0776.$$

$$\alpha_2 = \frac{l}{b} = \frac{355}{175} = 2,03; \beta_2 = \frac{z}{b} = \frac{600}{175} = 3,43 \rightarrow k_{c_2} = 0,0609.$$

$$\alpha_3 = \frac{l}{b} = \frac{260}{145} = 1,79; \beta_2 = \frac{z}{b} = \frac{600}{145} = 4,14 \rightarrow k_{c_3} = 0,0415.$$

$$\sigma_{zc_4} = 2(0,0415 \cdot 0,32 + (0,0776 - 0,0609) \cdot 0,29) = 0,0362 \text{ МПа}$$

## Задача 4

К горизонтальной поверхности массива грунта приложена вертикальная неравномерная нагрузка, распределенная в пределах гибкой полосы (ширину полосы  $b$ ) по закону трапеции от  $P_1$ , до  $P_2$  (рисунок 3). Определить вертикаль-

ные составляющие напряжения  $\sigma_z$  в точках массива грунта для заданной вертикали, проходящей через одну из точек  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5$  загруженной полосы и горизонтали, расположенной на расстоянии  $z$  от поверхности. Точки по вертикали расположить от поверхности на расстоянии 100, 200, 400, 600 см. Точки по горизонтали расположить вправо и влево от середины загруженной полосы на расстоянии 0, 100, 300 см. По вычисленным напряжениям построить эпюры распределения напряжений  $\sigma_z$  исходные данные приведены в таблице 6, схема к расчету - на рисунке 6.

Таблица 14

Номер варианта	b, см	$P_1$ , МПа	$P_2$ , МПа	Z, см	Расчетная вертикаль
1	300	0,12	0,22	100	$M_1$ ,
2	500	0,18	0,28	300	$M_2$ ,
3	400	0,22	0,32	200	$M_3$ ,
4	500	0,26	0,36	200	$M_4$ ,
5	600	0,14	0,24	400	$M_5$ ,
6	400	0,16	0,26	200	$M_5$ ,
7	600	0,24	0,34	300	$M_4$ ,
8	500	0,15	0,25	400	$M_3$ ,
9	400	0,13	0,23	200	$M_2$ ,
0	300	0,21	0,31	100	$M_1$ ,

Для случая действия на поверхности грунта нагрузки, распределённой в пределах гибкой полосы по трапецидальной эпюре, значение вертикального сжимаемого напряжения в заданной точке массива грунта определяют путём суммирования напряжений от прямоугольного и треугольного элементов эпюр внешней нагрузки.

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

Где  $k_z$  - коэффициент, определяемый в зависимости от значения относительных координат  $z/b$  и  $y/b$  (таблица 14 );

$b$  - ширина загруженной полосы;

$z$  - глубина рассматриваемой точки;

$y$  - расстояние от середины загруженной полосы до точки;

$P$  - вертикальная равномерно распределённая нагрузка.

Таблица 15 - Значения коэффициентов влияния  $k_z$ ,  $K_y$ ,  $K_{yz}$  для определения составляющих напряжений в случае действия равномерно распределенной нагрузки

$\frac{z}{b}$	Значения $y/b$																	
	0			0,25			0,5			1			1,5			2		
	$K_z$	$K_y$	$K_{yz}$	$K_z$	$K_y$	$K_{yz}$	$K_z$	$K_y$	$K_{yz}$	$K_z$	$K_y$	$K_{yz}$	$K_z$	$K_y$	$K_{yz}$	$K_z$	$K_y$	$K_{yz}$
0,00	1,00	1,00	0	1,00	1,00	0	0,50	0,50	0,32	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,25	0,96	0,45	0	0,90	0,39	0,13	0,50	0,35	0,30	0,02	0,17	0,05	0,00	0,07	0,01	0,00	0,04	0,00
0,50	0,82	0,18	0	0,74	0,19	0,16	0,48	0,23	0,26	0,08	0,21	0,13	0,02	0,12	0,04	0,00	0,07	0,02
0,75	0,67	0,08	0	0,61	0,10	0,13	0,45	0,14	0,20	0,15	0,22	0,16	0,04	0,14	0,07	0,02	0,10	0,04
1,00	0,55	0,04	0	0,51	0,05	0,10	0,41	0,09	0,16	0,19	0,15	0,16	0,07	0,14	0,10	0,03	0,13	0,05
1,25	0,46	0,02	0	0,44	0,03	0,07	0,37	0,06	0,12	0,20	0,11	0,14	0,10	0,12	0,10	0,04	0,11	0,07
1,50	0,40	0,01	0	0,38	0,02	0,06	0,33	0,04	0,10	0,21	0,06	0,11	0,13	0,09	0,10	0,07	0,09	0,08
1,75	0,35	—	0	0,34	0,01	0,04	0,30	0,03	0,08	0,20	0,05	0,10	0,14	0,07	0,10	0,08	0,08	0,08
2,00	0,31	—	0	0,31	—	0,03	0,28	0,02	0,06	0,17	0,02	0,06	0,13	0,03	0,07	0,10	0,04	0,07
3,00	0,21	—	0	0,21	—	0,02	0,20	0,01	0,03	0,14	0,01	0,03	0,12	0,02	0,05	0,10	0,03	0,05
4,00	0,16	—	0	0,16	—	0,01	0,15	—	0,02	0,12	—	—	0,11	—	—	0,09	—	—
5,00	0,13	—	0	0,13	—	—	0,12	—	—	0,10	—	—	0,10	—	—	—	—	—
6,00	0,11	—	0	0,10	—	—	0,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Вертикальные напряжения  $\sigma'_z$ , возникающие от действия полосообразной неравномерно распределённой нагрузки (треугольный элемент эпюры внешне нагрузки), определяют по формуле:  $\sigma'_z = k'_z P$ ,

где  $k'_z$  - коэффициент, определяемый в зависимости от значения относительных координат  $z/b$  и  $y'/b$  (таблица 15);

$b$  - ширина загруженной полосы;

$z$  - глубина рассматриваемой точки;

$y'$  - расстояние от середины загруженной полосы до точки;

$P$  – наибольшая ордината треугольной нагрузки.

Таблица 16 - Значения коэффициента влияния  $k'_z$  для определения напряжения в случае действия неравномерно распределенной нагрузки

z/b	Значения y/b										
		-1	-0,5	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5
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	-	-	0,001	0,075	0,256	0,480	0,643	0,424	0,015	0,003	0,000
0,5	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

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

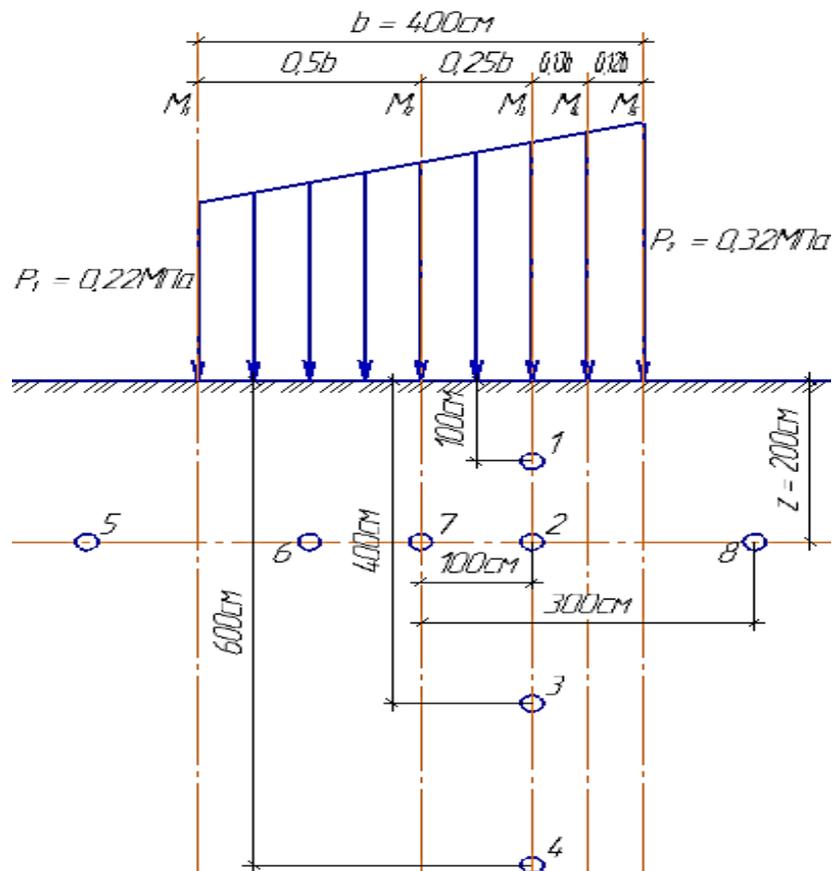


Рисунок 6 - Расчетная схема к задаче 4

Таблица 17 – Исходные данные к задаче 4

b, см	$P_1$ , МПа	$P_2$ , МПа	z, см
400	0,22	0,32	200

Пример решения задачи 4

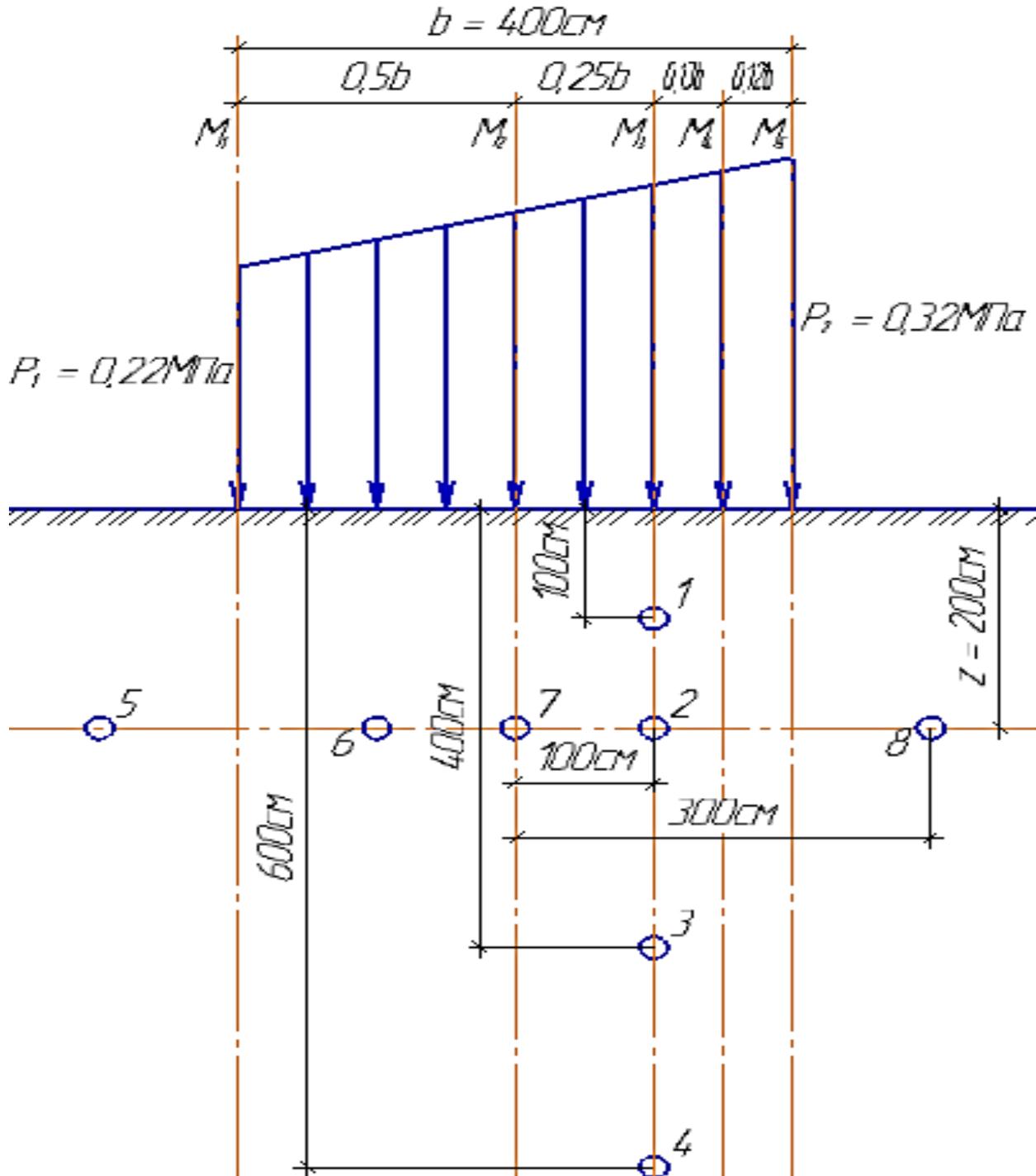


Рисунок 7 – Расчетная схема к задаче 4

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

$$\sigma'_z = k'_z \cdot P,$$

где  $k'_z$  – коэффициент, определяемый в зависимости от значения относительных координат  $z/b$  и  $y'/b$  (принимается по таблице 3.7. [5]);

$b$  – ширина загруженной полосы, м;

$z$  – глубина рассматриваемой точки, м;

$y'$  – расстояние от точки расчета до начала полосообразной неравномерной нагрузки, распределенной по закону треугольника, м;

$P$  – наибольшая ордината треугольной нагрузки, МПа.

Суммируя эти два напряжения, получаем расчетную формулу для нашего случая.

$$\sigma_z = k_z P_1 + k'_z (P_2 - P_1)$$

Точка 1

$$\frac{z}{b} = \frac{1}{4} = 0,25; \frac{y}{b} = \frac{1}{4} = 0,25 \rightarrow k_z = 0,90.$$

$$\frac{z}{b} = 0,25; \frac{y'}{b} = \frac{3}{4} = 0,75 \rightarrow k'_z = 0,643.$$

$$\sigma_z = 0,90 \cdot 0,22 + 0,643(0,32 - 0,22) = 0,2623 \text{ МПа}$$

Точка 2

$$\frac{z}{b} = \frac{2}{4} = 0,5; \frac{y}{b} = \frac{1}{4} = 0,25 \rightarrow k_z = 0,74.$$

$$\frac{z}{b} = 0,5; \frac{y'}{b} = \frac{3}{4} = 0,75 \rightarrow k'_z = 0,477.$$

$$\sigma_z = 0,74 \cdot 0,22 + 0,477(0,32 - 0,22) = 0,2105 \text{ МПа}$$

Точка 3

$$\frac{z}{b} = \frac{4}{4} = 1; \frac{y}{b} = \frac{1}{4} = 0,25 \rightarrow k_z = 0,51.$$

$$\frac{z}{b} = 1; \frac{y'}{b} = \frac{3}{4} = 0,75 \rightarrow k'_z = 0,279.$$

$$\sigma_z = 0,51 \cdot 0,22 + 0,279(0,32 - 0,22) = 0,1401 \text{ МПа}$$

Точка 4

$$\frac{z}{b} = \frac{6}{4} = 1,5; \frac{y}{b} = \frac{1}{4} = 0,25 \rightarrow k_z = 0,38.$$

$$\frac{z}{b} = 1,5; \frac{y'}{b} = \frac{3}{4} = 0,75 \rightarrow k'_z = 0,202.$$

$$\sigma_z = 0,38 \cdot 0,22 + 0,202(0,32 - 0,22) = 0,1038 \text{ МПа}$$

Точка 5

$$\frac{z}{b} = \frac{2}{4} = 0,5; \frac{y}{b} = \frac{3}{4} = 0,75 \rightarrow k_z = 0,28.$$

$$\frac{z}{b} = 0,5; \frac{y'}{b} = \frac{1}{4} = 0,25 \rightarrow k'_z = 0,263.$$

$$\sigma_z = 0,28 \cdot 0,22 + 0,263(0,32 - 0,22) = 0,0879 \text{ МПа}$$

Точка 6

$$\frac{z}{b} = \frac{2}{4} = 0,5; \frac{y}{b} = \frac{1}{4} = 0,25 \rightarrow k_z = 0,74.$$

$$\frac{z}{b} = 0,5; \frac{y'}{b} = \frac{1}{4} = 0,25 \rightarrow k'_z = 0,263.$$

$$\sigma_z = 0,74 \cdot 0,22 + 0,263(0,32 - 0,22) = 0,1891 \text{ МПа}$$

Точка 7

$$\frac{z}{b} = \frac{2}{4} = 0,5; \frac{y}{b} = \frac{0}{4} = 0 \rightarrow k_z = 0,82.$$

$$\frac{z}{b} = 0,5; \frac{y'}{b} = \frac{2}{4} = 0,5 \rightarrow k'_z = 0,410.$$

$$\sigma_z = 0,82 \cdot 0,22 + 0,410(0,32 - 0,22) = 0,2214 \text{ МПа}$$

Точка 8

$$\frac{z}{b} = \frac{2}{4} = 0,5; \frac{y}{b} = \frac{3}{4} = 0,75 \rightarrow k_z = 0,28.$$

$$\frac{z}{b} = 0,5; \frac{y'}{b} = \frac{5}{4} = 1,25 \rightarrow k'_z = 0,2045.$$

$$\sigma_z = 0,28 \cdot 0,22 + 0,2045(0,32 - 0,22) = 0,08205 \text{ МПа}$$

## Задача 5

Откосы котлована глубиной Н проектируются с заложением m. Грунт в со-

стоянии природной влажности, имеет следующие характеристики физико-механических свойств: плотность грунта  $\rho$ , угол внутреннего трения  $\varphi$ , удельное сцепление  $c$ . Определить методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения коэффициент устойчивости откоса. Исходные данные приведены в таблице 7, схема к расчету представлена на рисунке 4.

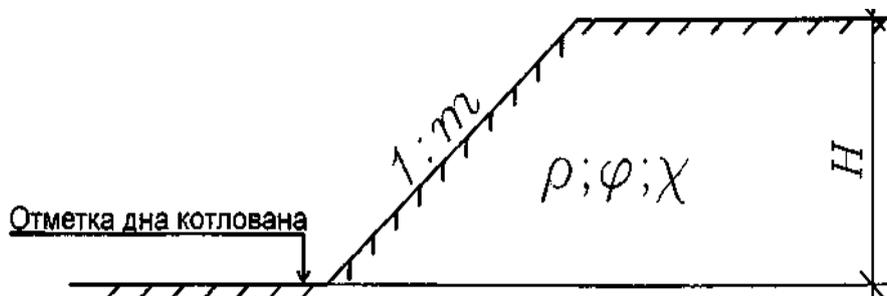


Рисунок 8 - Расчетная схема к задаче 5

Таблица 18

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

В проектной практике широко распространён расчёт устойчивости откосов по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Сущность применения этого метода сводится к следующему. Задаются центром вращения  $O$  откоса  $AB$  (рисунок 10). Проводят след круглоцилиндрической поверхности радиусом  $R$  через точку  $A$ . Призму обрушения  $ABC$  делят вертикальными плоскостями на  $n$  отсеков. Суммируют силу тяжести каждого отсека с его внешней нагрузкой и сносят равнодействующую на поверхность скольжения. Эту силу  $P_i$  для каждого отсека раскладывают на две составляющие:  $N_i$ , действующую.

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

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

где  $n$  – число отсеков, на которые делится призма скольжения;

$N_i$  – нормальные составляющие от веса отсеков  $P_i$ , равные  $P_i \cos \theta_i$ , кН;

$P_i$  – вес расчетного отсека, кН;

$\theta_i$  – угол между направлением силы  $P_i$  и нормальной составляющей  $N_i$ , град;

$\varphi$  – угол внутреннего трения грунта откоса, град;

$c$  – удельное сцепление грунта откоса, кН/м;

$L$  – длина дуги скольжения  $AC$ , м;

$R$  – радиус круглоцилиндрической дуги скольжения, м;

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

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

где  $n$  - число отсеков, на которые делится призма обрушения;

$N_i = P_i \cdot \cos \theta_i$  - нормальная составляющая от веса отсека  $P_i$ .

Здесь  $P_i$  - вес расчётного отсека,  $\theta_i$  - угол между направлением силы  $P_i$  и нормальной составляющей  $N_i$ ;

$\varphi$  - угол внутреннего трения;

$c_i$  - удельное сцепление;

$L_i$  - длина дуги скольжения;

$R$  - радиус круглоцилиндрической дуги скольжения;

$T_i = P_i \cdot \sin \theta_i$  - касательная составляющая от веса отсека  $P_i$ .

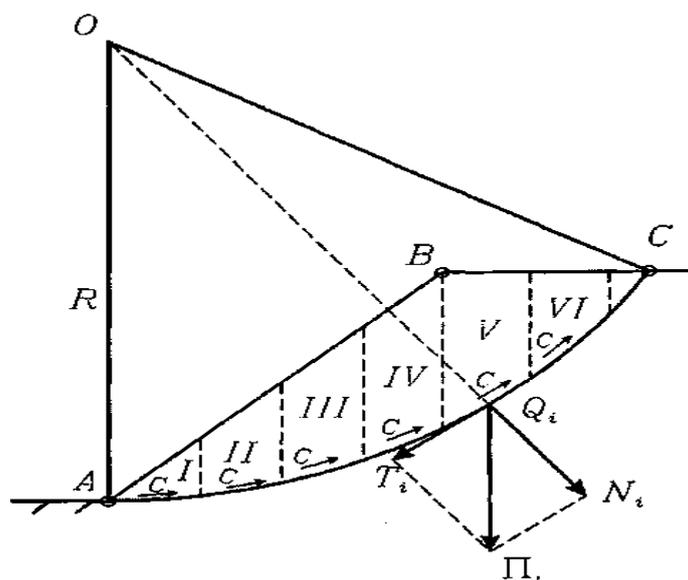


Рисунок 9 - Схема действия сил

При расчёте  $\eta$  значение момента принимается отрицательным для восходящей ветви дуги скольжения и положительным - для нисходящей. Радиус кругло цилиндрической дуги скольжения  $R$ , а также ширину и высоту отсеков допускается определять графически с расчётной схемы, выполняемой в масштабе 1:100. Для расчёта выделяют 1 п.м по длине откоса (перпендикулярно к плоскости чертежа). Вес расчётного отсека определяется как произведение плотности грунта на объём отсека.

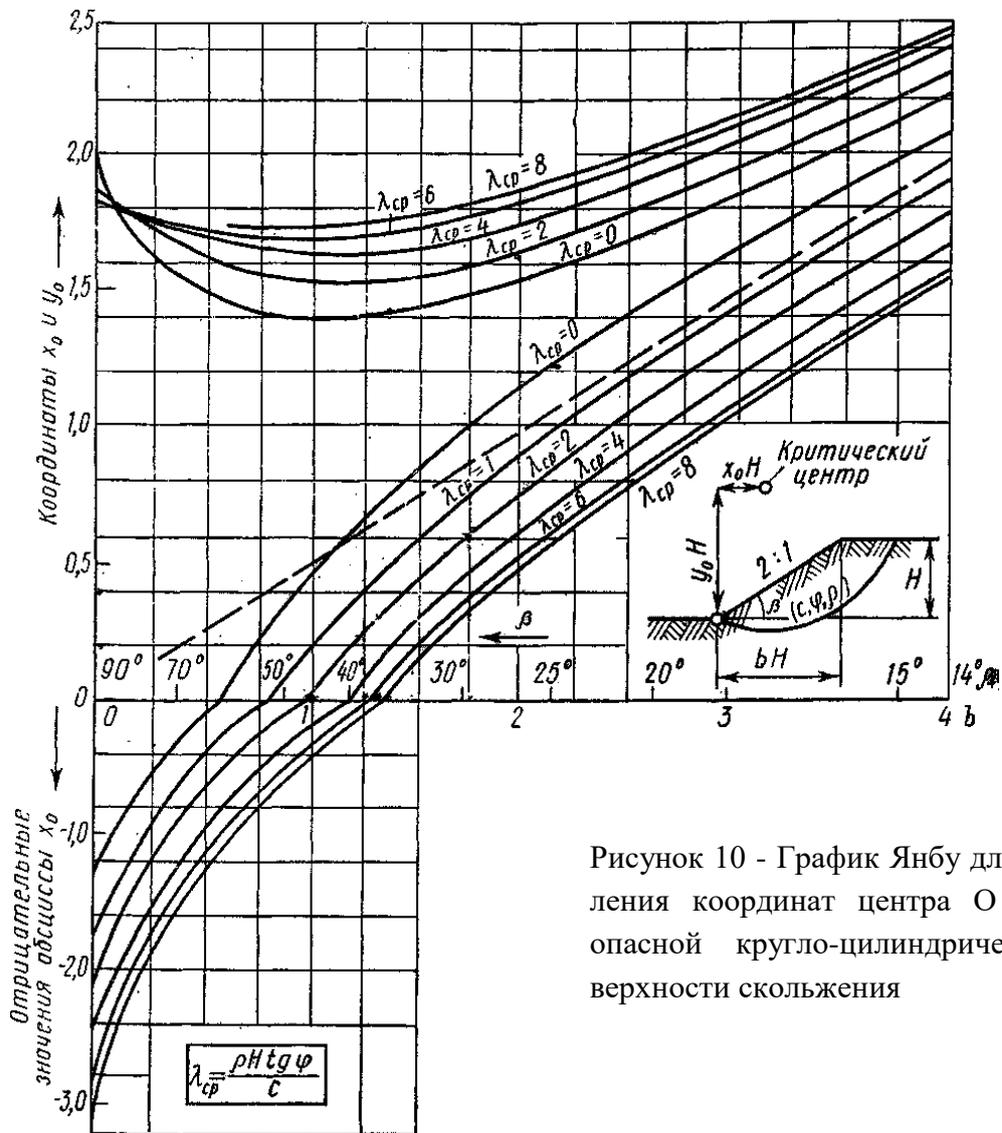


Рисунок 10 - График Ямбу для установления координат центра О наиболее опасной кругло-цилиндрической поверхности скольжения

Дано:

Н, см	m	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\varphi$ , град	c, МПа
1600	2,0	1,96	16	0,016

Пример решения

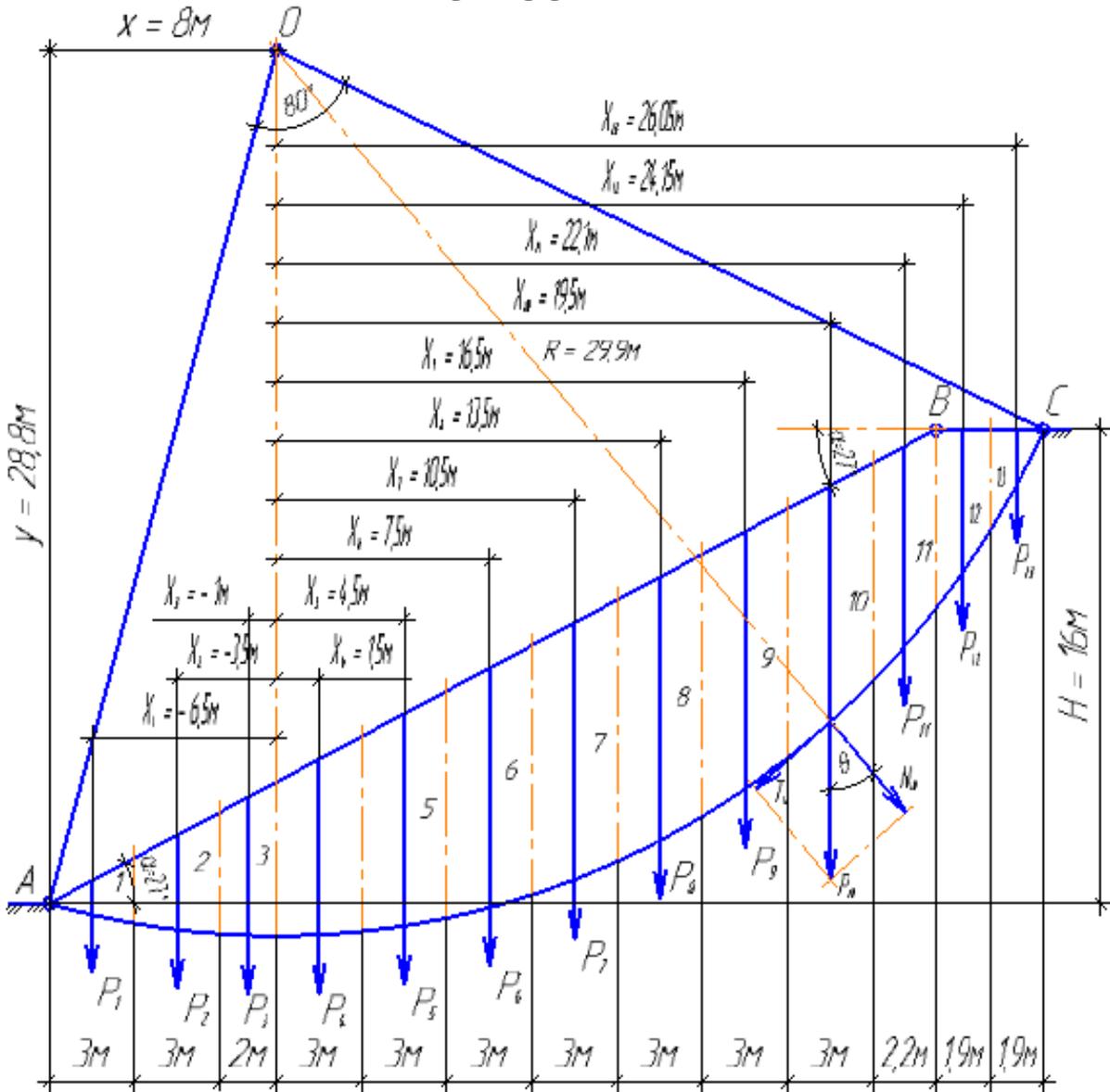


Рисунок 11 - Расчетная схема к задаче 5

Определяем угол наклона грунтового откоса

$$\alpha = \text{arctg} \frac{1}{m} = \text{arctg} \frac{1}{2} = 27^\circ.$$

Определяем значение коэффициента  $\lambda_{\text{ср}}$

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\gamma \cdot H \cdot \text{tg} \phi}{c},$$

где  $\gamma$  – удельный вес грунта,  $\text{кН}/\text{м}^3$ :

$$\gamma = \rho \cdot g,$$

где  $\rho$  – плотность грунта,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;

$g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ ).

$$\gamma = 1,96 \cdot 9,80665 = 19,22 \text{ кН/м}^3.$$

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{19,22 \cdot 16 \cdot \text{tg}16^\circ}{16} = 5,51$$

По полученным значениям  $\lambda_{\text{ср}} = 5,51$  и  $\alpha = 27^\circ$  по графику Янбу (рис. 11) определяем относительные координаты  $x_0$  и  $y_0$  центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения  $O$ :  $x_0 = 0,5$ ,  $y_0 = 1,8$ .

Координаты центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения  $O$ :

$$x = x_0 \cdot H = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ м};$$

$$y = y_0 \cdot H = 1,8 \cdot 16 = 28,8 \text{ м}.$$

Определяем радиус дуги

$$R = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{8^2 + 28,8^2} = 29,9 \text{ м}.$$

Длина дуги скольжения:

$$L = \frac{\pi R \theta}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 29,9 \cdot 80^\circ}{180^\circ} = 42 \text{ м}$$

Выделяем для расчета 13 отсеков шириной не более 3,0 м каждый и далее расчет ведем в табличной форме (табл. 9).

Вес каждого блока  $P_i$  определяют как:  $P_i = \gamma_i A_i l$ ,

где  $\gamma_i$  – удельный вес грунта в пределах  $i$ -го блока,  $\text{кН/м}^3$ ;

$A_i$  – площадь  $i$ -го блока, определяется как площадь трапеции или треугольника,  $\text{м}^2$ ;

$l$  – толщина  $i$ -го блока, равна 1,0 м.

Площадь  $i$ -го блока:

$$A_i = \frac{a_i + b_i}{2} \cdot d_i, \text{ м}^2$$

где  $a_i$  – длина 1-ого основания, м;

$b_i$  – длина 2-ого основания, м;

$d_i$  – длина высоты трапеции, м.

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{0 + 2,2}{2} \cdot 3 = 3,3 \text{ м}^2; & A_2 &= \frac{2,2 + 4,2}{2} \cdot 3 = 9,6 \text{ м}^2; \\
 A_3 &= \frac{4,2 + 5,2}{2} \cdot 2 = 9,4 \text{ м}^2; & A_4 &= \frac{5,2 + 6,6}{2} \cdot 3 = 17,7 \text{ м}^2; \\
 A_5 &= \frac{6,6 + 7,8}{2} \cdot 3 = 21,6 \text{ м}^2; & A_6 &= \frac{7,8 + 8,4}{2} \cdot 3 = 24,3 \text{ м}^2; \\
 A_7 &= \frac{8,4 + 9,0}{2} \cdot 3 = 26,1 \text{ м}^2; & A_8 &= \frac{9,0 + 9,0}{2} \cdot 3 = 27 \text{ м}^2 \\
 A_9 &= \frac{9,0 + 8,6}{2} \cdot 3 = 26,4 \text{ м}^2 \\
 A_{10} &= \frac{8,6 + 7,6}{2} \cdot 3 = 24,3 \text{ м}^2 & A_{11} &= \frac{7,6 + 6,2}{2} \cdot 2,2 = 15,18 \text{ м}^2 \\
 A_{12} &= \frac{6,2 + 3,6}{2} \cdot 1,9 = 9,31 \text{ м}^2 & A_{13} &= \frac{3,6 + 0}{2} \cdot 1,9 = 3,42 \text{ м}^2
 \end{aligned}$$

Таблица 19

№ отсека	d <sub>i</sub> , м	a <sub>i</sub> , м	b <sub>i</sub> , м	A <sub>i</sub> , м <sup>2</sup>	P <sub>i</sub> , кН	X <sub>i</sub> , м
1	2	3	4	5	6	7
1	3	0	2,2	3,3	63,4	-6,5
2	3	2,2	4,2	9,6	184,5	-3,5
3	2	4,2	5,2	9,4	180,7	-1
4	3	5,2	6,6	17,7	340,2	1,5
5	3	6,6	7,8	21,6	415,2	4,5
6	3	7,8	8,4	24,3	467,1	7,5
7	3	8,4	9,0	26,1	501,7	10,5
8	3	9,0	9,0	27	519,0	13,5
9	3	9,0	8,6	26,4	507,4	16,5
10	3	8,6	7,6	24,3	467,1	19,5
11	2,2	7,6	6,2	15,18	291,8	22,1
12	1,9	6,2	3,6	9,31	178,9	24,15
13	1,9	3,6	0	3,42	65,7	26,05
Σ					4182,7	134,8

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

где X<sub>i</sub> – плечо от линии действия веса расчетного отсека до центра вращения, м.

$$K_y = \frac{(0,8 \cdot 4182,7 \cdot \operatorname{tg} 16^\circ + 16 \cdot 42) \cdot 29,9}{4182,7 \cdot 10,4} = 1,12$$

Поскольку значение коэффициента устойчивости  $K_y = 1,12$  входит в интервал  $1,1 \dots 1,3$ , то откос является устойчивым.

### Задача 6

Подпорная стенка высотой  $H$  с абсолютно гладкими вертикальными гранями и горизонтальной поверхностью засыпки грунта за стенкой имеет заглубление фундамента  $h_{\text{загл}}$  и ширину подошвы фундамента  $b$  (рисунок 5). Засыпка за стенкой и основание представлены глинистым грунтом, имеющим следующие характеристики физико-механических свойств: плотность грунта  $\rho$ , угол внутреннего трения  $\varphi$ , удельное сцепление  $c$ . Требуется:

а) определить аналитическим методом значения равнодействующих активного и пассивного давлений грунта на подпорную стенку без учета нагрузки на поверхности засыпки, построить эпюры активного и пассивного давлений грунта, указать направления и точки приложения равнодействующих давлений грунта;

б) определить графическим методом, предложенным Ш. Кулоном, максимальное давление грунта на заднюю грань подпорной стенки при наличии на поверхности засыпки равномерно распределенной нагрузки интенсивностью  $q$ .

Исходные данные приведены в таблице 8, схема к расчету - на рисунке 5.

Таблица 20

Номер варианта	$H$ , см	$h_{\text{загл}}$ , см	$b$ , см	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\varphi$ , град	$c$ , МПа	$q$ , МПа
1	600	180	280	2,05	16	0,016	0,15
2	800	220	360	1,98	19	0,018	0,22
3	700	200	320	2,02	17	0,015	0,16
4	500	190	240	2,09	18	0,021	0,15
5	900	250	400	2,08	21	0,023	0,18
6	400	160	190	1,97	20	0,019	0,12
7	600	190	200	2,05	14	0,014	0,24
8	1000	320	380	1,98	22	0,022	0,25
9	800	230	340	1,96	23	0,025	0,18
0	700	240	300	2,04	19	0,025	0,14

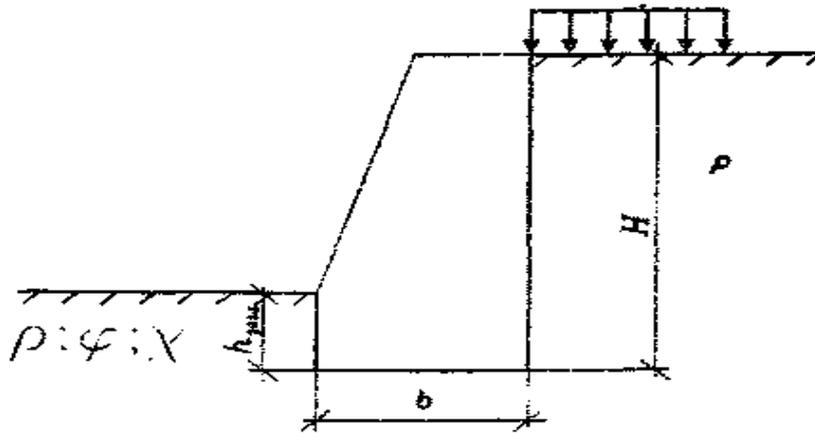


Рисунок 12 - Расчетная схема к задаче 6

Таблица 21 – Исходные данные к задаче 6

Н, см	$h_{\text{загл}}$	б, см	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\varphi$ , град	с, МПа	q, МПа
700	200	320	2,02	17	0,015	0,16

$$c = 0,015 \text{ МПа} = 15 \text{ кН/м}^2$$

$$q = 0,16 \text{ МПа} = 160 \text{ кН/м}^2$$

$\gamma$  – удельный вес грунта, кН/м<sup>3</sup>:

$$\gamma = \rho \cdot g,$$

где  $\rho$  – плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ ).

$$\gamma = 2,02 \cdot 9,80665 = 19,81 \text{ кН/м}^3.$$

### **Пример решения**

#### **Решение**

Определение давления грунта на вертикальную гладкую подпорную стенку с учётом внутреннего трения и сцепления грунта можно произвести по следующим зависимостям:

активное давление грунта  $\sigma_{za}$ :

$$\sigma_{za} = \gamma \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - 2c \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right),$$

где  $z$  – расстояние точки от поверхности засыпки ( $z = H$ ), м.

$$\sigma_{za} = 19,81 \cdot 7 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{17}{2} \right) - 2 \cdot 15 \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{17}{2} \right) = 53,73 \text{ кПа};$$

пассивное давление грунта  $\sigma_{zp}$  на уровне обреза подпорной стенки при  $z = 0$ :

$$\sigma_{zp} = 2c \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right),$$

$$\sigma_{zp} = 2 \cdot 15 \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{17}{2} \right) = 40,54 \text{ кПа};$$

пассивное давление грунта  $\sigma_{zp}$  на уровне подошвы подпорной стенки при  $z = h_{\text{загл}}$ :

$$\sigma_{zp} = \gamma \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right),$$

$$\sigma_{zp} = 19,81 \cdot 2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{17}{2} \right) + 2 \cdot 15 \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{17}{2} \right) = 112,90 \text{ кПа};$$

равнодействующая  $E_a$  активного давления грунта:

$$E_a = \frac{\gamma \cdot H^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}{2} - 2c \cdot H \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{2c^2}{\gamma},$$

где  $H$  – высота подпорной стенки, м.

$$E_a = \frac{19,81 \cdot 7^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{17}{2} \right)}{2} - 2 \cdot 15 \cdot 7 \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{17}{2} \right) + \frac{2 \cdot 15^2}{19,81} = 133,07 \text{ кПа};$$

равнодействующая  $E_p$  пассивного давления грунта:

$$E_p = \frac{\gamma \cdot h_{\text{загл}}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}{2} + 2c \cdot h_{\text{загл}} \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right),$$

где  $h_{\text{загл}}$  – заглубление фундамента подпорной стенки, м.

$$E_p = \frac{19,81 \cdot 2^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{17}{2} \right)}{2} + 2 \cdot 15 \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{17}{2} \right) = 153,44 \text{ кПа}.$$

Точка приложения  $E_a$  находится от подошвы фундамента подпорной

стенки на расстоянии:  $l_a = \frac{H - h_c}{3}$ ,

где  $h_c$  – высота верхней части стенки, не воспринимающей давление грунта, м:

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

$$h_c = \frac{2 \cdot 15}{19,81 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{17}{2}\right)} = 2,05 \text{ м}$$

$$l_a = \frac{7 - 2,05}{3} = 1,65 \text{ м}$$

Точка приложения  $E_{\text{п}}$  находится на высоте  $l_{\text{п}}$  от подошвы фундамента подпорной стенки:

$$l_{\text{п}} = \frac{h_{\text{загл}}(a + 2d)}{3(a + d)},$$

где  $a$  – величина пассивного давления грунта в уровне подошвы фундамента при  $z = h_{\text{загл}}$ ;  $d$  – величина пассивного давления грунта в уровне обреза фундамента при  $z = 0$ .

$$l_{\text{п}} = \frac{2(112,90 + 2 \cdot 40,54)}{3(112,90 + 40,54)} = 0,84 \text{ м}$$

По полученным данным строим расчетную схему и эпюры активного и пассивного давлений (рисунок 11).

Для определения давления грунта на подпорную стенку графическим методом используем построения, предложенные Ш. Кулоном. Этот метод основан на построении силовых треугольников и справедлив для общего случая засыпки грунта за подпорной стенкой, любой ее формы и любого наклона задней грани стенки.

Через нижнее ребро А (рисунок 12) подпорной стенки проводим несколь-

ко возможных плоскостей скольжения –  $AC_1, AC_2, AC_3, \dots$ . Для каждой из призм обрушения, например призмы  $ABC_1$ , строим силовой треугольник, отложив в масштабе от некоторой точки  $O$  величину  $Q_1$ , равную весу призмы  $ABC_1$ , и проведя линию, параллельную реакции неподвижной части массива грунта  $R_1$ , направленной под углом  $\varphi$  к перпендикуляру плоскости скольжения  $AC_1$ , и линию, параллельную реакции подпорной стенки  $E_1$ , направленную под углом трения  $\varphi_0$  грунта о стенку. Как правило, для глины принимают  $\varphi_0 = 0$ , для сыпучих грунтов  $\varphi_0 = 0,67\varphi$ .

Из условия замыкания силового треугольника по масштабу сил определим значения  $R_1$  и  $E_1$ . Далее строим силовые треугольники и для призм обрушения  $ABC_2$  и  $ABC_3$  и т. д., при этом направление реакции подпорной стенки остается неизменным, а направление реакции  $R_i$  будет меняться в зависимости от угла наклона плоскости скольжения  $\alpha_i$ .

Построение удобно расположить так, как показано на рисунке 12. Из этого построения легко определяется  $E_{\max}$  по точке касания прямой, проведенной параллельно  $Q$  к кривой  $V_1, V_2, V_3$  изменения давления  $E$ . Для получения  $E_{\max}$  надо провести через найденную точку касания прямую, параллельную направлению  $E$ , и измерить полученный отрезок в масштабе сил.

$\varphi_0 = 0$  – угол трения грунта о стенку (для глины)

Силу  $Q$  легко определить, рассматривая равновесие участка подпорной стенки длиной 1 м:

$$Q_i = S_{\Delta ABC_i} \cdot l \cdot \gamma + ql_i, \text{ кН/м,}$$

где  $S_{\Delta ABC_i}$  – площадь  $i$ -ой призмы обрушения,  $\text{м}^2$ :

$$S_{\Delta ABC_i} = \frac{AB \cdot BC_i}{2};$$

$\gamma$  – удельный вес грунта,  $\text{кН/м}^3$ ;

$q$  – равномерно распределенная нагрузка,  $\text{кН/м}^2$ .

$$S_{\Delta ABC_1} = \frac{AB \cdot BC_1}{2} = \frac{7 \cdot 2,53}{2} = 8,87 \text{ м}^2$$

$$Q_1 = S_{\Delta ABC_1} \cdot l \cdot \gamma + ql_1 = 8,87 \cdot 1 \cdot 19,81 + 160 \cdot 2,53 = 580,51 \text{ кН/м}$$

$$S_{\Delta ABC_2} = \frac{AB \cdot BC_2}{2} = \frac{7 \cdot 3,27}{2} = 11,43 \text{ м}^2$$

$$Q_2 = S_{\Delta ABC_2} \cdot l \cdot \gamma + ql_2 = 11,43 \cdot 1 \cdot 19,81 + 160 \cdot 3,27 = 749,63 \text{ кН/м}$$

$$S_{\Delta ABC_3} = \frac{AB \cdot BC_3}{2} = \frac{7 \cdot 4}{2} = 14 \text{ м}^2$$

$$Q_3 = S_{\Delta ABC_3} \cdot l \cdot \gamma + ql_3 = 14 \cdot 1 \cdot 19,81 + 160 \cdot 4 = 917,34 \text{ кН/м}$$

$$S_{\Delta ABC_4} = \frac{AB \cdot BC_4}{2} = \frac{7 \cdot 4,88}{2} = 17,09 \text{ м}^2$$

$$Q_4 = S_{\Delta ABC_4} \cdot l \cdot \gamma + ql_4 = 17,09 \cdot 1 \cdot 19,81 + 160 \cdot 4,88 = 1119,35 \text{ кН/м}$$

$$S_{\Delta ABC_5} = \frac{AB \cdot BC_5}{2} = \frac{7 \cdot 5,85}{2} = 20,48 \text{ м}^2$$

$$Q_5 = S_{\Delta ABC_5} \cdot l \cdot \gamma + ql_5 = 20,48 \cdot 1 \cdot 19,81 + 160 \cdot 5,85 = 1341,71 \text{ кН/м}$$

$$S_{\Delta ABC_6} = \frac{AB \cdot BC_6}{2} = \frac{7 \cdot 6,92}{2} = 24,21 \text{ м}^2$$

$$Q_6 = S_{\Delta ABC_6} \cdot l \cdot \gamma + ql_6 = 24,21 \cdot 1 \cdot 19,81 + 160 \cdot 6,92 = 1586,80 \text{ кН/м}$$

Значение максимального давления грунта на заднюю грань подпорной стенки, полученное графическим способом, равно 880 кН/м.

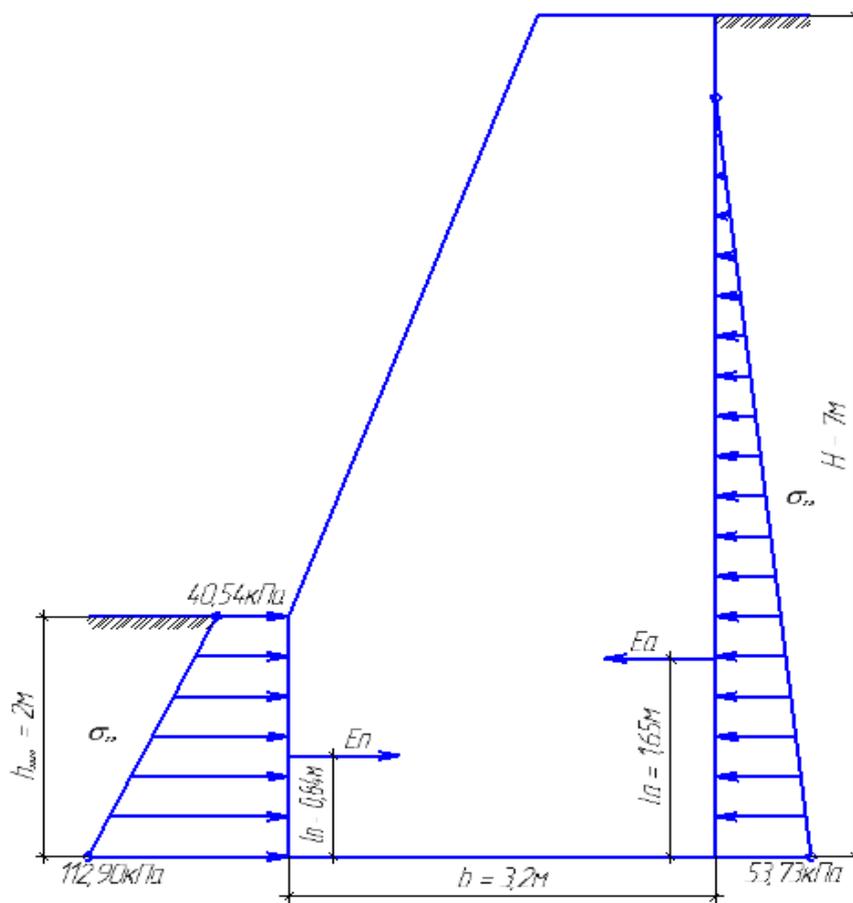


Рисунок 13 - Расчетная схема и эпюры активного и пассивного давлений

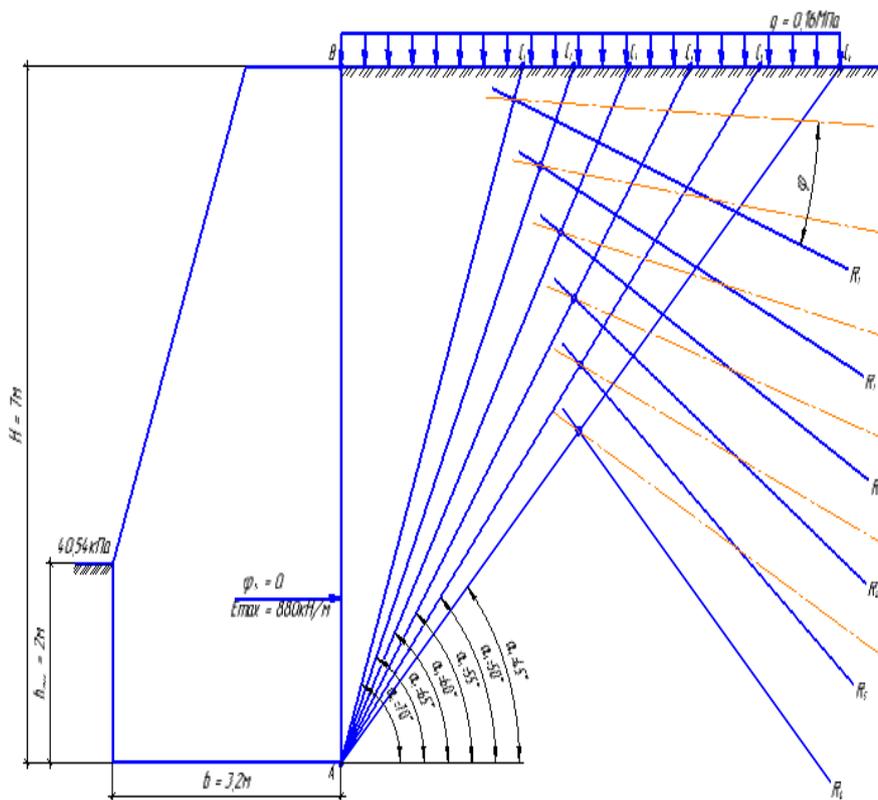


Рисунок 14 - Графическое определение максимального давления грунта на подпорную стенку

## Задача 7

Равномерно распределенная полосообразная (шириной  $b$ ) нагрузка интенсивностью  $P$  приложена на глубине  $h$  от горизонтальной поверхности слоистой толщи грунтов (рисунок 6). Определить по методу послойного суммирования с учетом только осевых сжимающих напряжений полную стабилизированную осадку грунтов. С поверхности залегает песчаный грунт (мощностью  $h_k$  плотностью  $\rho_1$ , плотностью частиц грунта  $\rho_{s1}$ , с природной влажностью  $w$  и модулем общей деформации  $E_{01}$ ), подстилаемый водонепроницаемой глиной ( $h_2$ ,  $\rho_2$ ,  $E_{02}$ ). Уровень грунтовых вод расположен в слое песчаного грунта на расстоянии  $h_b$  от уровня подстилающего слоя. Исходные данные приведены в таблице 9, схема к расчету - на рисунке 6.

Таблица 22

Номер варианта	$b$ , см	$h$ , см	$P$ , МПа	$h_1$ , см	$\rho_1$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{s1}$ , г/см <sup>3</sup>	$W_1$ д.ед	$E_{01}$ , МПа	$h_2$ , см	$\rho_2$ г/см <sup>3</sup>	$E_{02}$ , см	$h_b$ , см
1	240	130	0,38	320	1,98	2,65	0,12	24	760	2,01	28	160
2	120	150	0,18	280	1,89	2,66	0,09	17	360	1,95	18	120
3	280	140	0,36	360	2,05	2,65	0,12	15	750	1,92	38	110
4	160	160	0,28	350	2,09	2,66	0,14	13	370	2,02	31	220
5	140	120	0,26	310	1,99	2,67	0,11	16	420	1,89	32	150
6	200	160	0,32	460	2,02	2,66	0,13	18	440	1,97	23	290
7	320	120	0,41	520	2,09	2,67	0,15	28	820	2,06	42	230
8	240	150	0,31	390	2,01	2,65	0,13	21	690	1,91	29	170
9	160	130	0,22	430	1,94	2,65	0,10	19	390	2,08	20	240
0	200	170	0,27	410	1,96	2,66	0,11	13	480	1,99	24	100

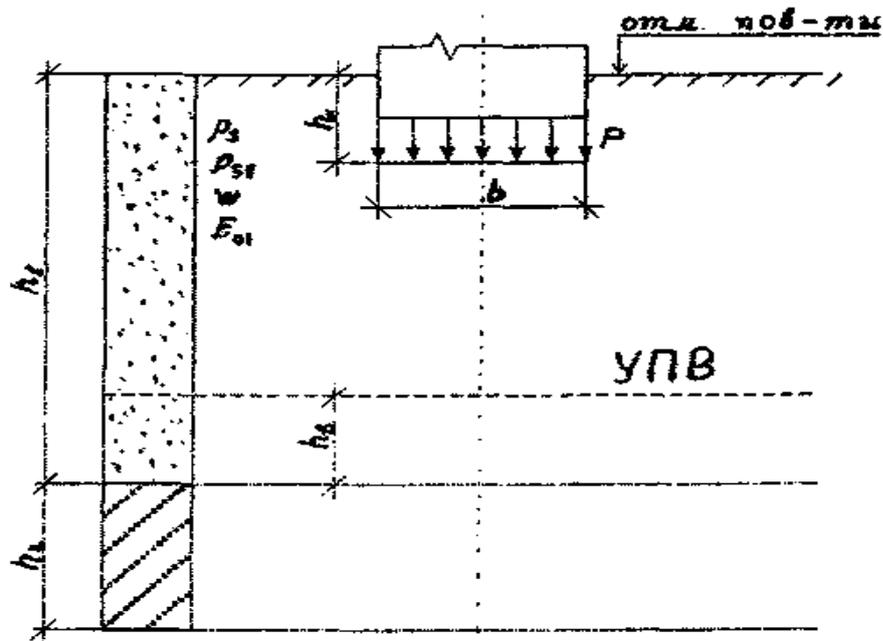


Рисунок 15 - Расчетная схема к задаче 7

Таблица 23 – Исходные данные к задаче 7

b, м	h, м	P, МПа	h <sub>1</sub> , м	ρ <sub>1</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s1</sub> , г/см <sup>3</sup>	w, д. ед.	E <sub>o1</sub> , МПа	h <sub>2</sub> , м	ρ <sub>2</sub> , г/см <sup>3</sup>	E <sub>o2</sub> , МПа	h <sub>B</sub> , м
2,8	1,4	0,36	3,6	2,05	2,65	0,12	15	7,5	1,92	38	1,1

### Решение

1. Наносим контуры фундамента на геологический разрез.

2. Разбиваем толщу грунта под подошвой фундамента на элементарные слои толщиной  $h_i \leq 0,4b$  так, чтобы в пределах каждого слоя грунт был однородным.

Принимаем для песков  $h_{i1} = 0,1b = 0,1 \cdot 2,8 = 0,28$  м;

для глин  $h_{i2} = 0,2b = 0,2 \cdot 2,8 = 0,56$  м.

Число слоев песчаного грунта:

$$n_1 = \frac{h'_1}{h_{i1}} = \frac{2,2}{0,28} = 7,86 \quad (8),$$

где  $h'_1 = h_1 - h = 3,6 - 1,4 = 2,2$  м.

Число слоев водонепроницаемой глины:

$$n_2 = \frac{h_2}{h_{i2}} = \frac{7,5}{0,56} = 13,39 \quad (13).$$

5. Строим эпюру природного напряжения  $\sigma_{zq}$  по оси фундамента. Эпюра

$\sigma_{zq}$  – прямолинейная, переломы совпадают с границами слоев. Начало эпюры соответствует уровню природного рельефа.

$$\sigma_{zq} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i,$$

$n$  – число слоев, на которое разбивается грунтовая толща под подошвой фундамента;

$\gamma_i$  – удельный вес  $i$ -го слоя,  $\text{кН/м}^3$ ;

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя, м.

Природное напряжение в уровне подошвы фундамента:

$$\sigma_{zq_0} = \gamma_1 \cdot h = 20,10 \cdot 1,4 = 28,15 \text{ кН/м}^2,$$

где  $\gamma_1 = \rho_1 \cdot g = 2,05 \cdot 9,80665 = 20,10 \text{ кН/м}^3$  – удельный вес песчаного грунта.

Определяем природное напряжение для первого слоя

$$\sigma_{zqi_1} = \gamma_1 \cdot h_{i_1} + \sigma_{zq_0} = 20,10 \cdot 0,28 + 28,15 = 33,78 \text{ кН/м}^2.$$

Определяем природное напряжение на уровне грунтовых вод

$$\sigma_{zq_1} = \gamma_1 \cdot (h'_1 - h_B) + \sigma_{zq_0} = 20,10 \cdot (2,2 - 1,1) + 28,15 = 50,26 \text{ кН/м}^2.$$

Для водопроницаемых грунтов (песков, супесей) ниже уровня подземных вод учитывается взвешивающее действие воды. В этом случае удельный вес грунта определяют по формуле:

$$\gamma_{sb_1} = \frac{\gamma_{s_1} - \gamma_w}{1 + e_1},$$

где  $\gamma_{s_1} = \rho_{s_1} \cdot g = 2,65 \cdot 9,80665 = 25,99 \text{ кН/м}^3$  – объемный вес частиц песчаного грунта;

$\gamma_w$  – удельный вес воды ( $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ );

$e_1$  – коэффициент пористости для песчаного грунта:

$$e_1 = \frac{\gamma_{s_1} - \gamma_{d_1}}{\gamma_{d_1}} = \frac{25,99 - 17,95}{17,95} = 0,448,$$

где  $\gamma_{d_1}$  – удельный вес сухого грунта:

$$\gamma_{d1} = \frac{\gamma_1}{1 + w} = \frac{20,10}{1 + 0,12} = 17,95 \text{ кН/м}^3.$$

$$\gamma_{sb1} = \frac{25,99 - 10}{1 + 0,448} = 11,04 \text{ кН/м}^3$$

Определяем природное напряжение на границе песчаного грунта с учетом взвешивающего действия воды

$$\sigma_{zq2} = \gamma_{sb1} \cdot h_B + \sigma_{zq1} = 11,04 \cdot 1,1 + 50,26 = 62,40 \text{ кН/м}^2.$$

Водонепроницаемые суглинки и глины рассматриваются как водоупорные слои, поэтому на них передается гидростатическое давление:

$$P_w = \gamma_w \cdot h_B,$$

где  $h_B$  – расстояние от уровня подземных вод до водоупорного слоя, м.

$$P_w = 10 \cdot 1,1 = 11 \text{ кН/м}^2$$

Полное вертикальное напряжение, действующее на кровлю глины:

$$\sigma'_{zq2} = P_w + \sigma_{zq2} = 11 + 62,40 = 73,4 \text{ кН/м}^2.$$

Определяем природное напряжение на границе водонепроницаемой глины

$$\sigma_{zq3} = \gamma_2 \cdot h_{i2} \cdot n_2 + \sigma'_{zq2} = 18,83 \cdot 0,56 \cdot 13,39 + 73,4 = 214,59 \text{ кН/м}^2.$$

где  $\gamma_2 = \rho_2 \cdot g = 1,92 \cdot 9,80665 = 18,83 \text{ кН/м}^3$  – удельный вес водонепроницаемой глины.

4. Определяем дополнительное вертикальное напряжение в плоскости подошвы фундамента

$$\sigma_{zp0} = P - \sigma_{zq0},$$

где  $P$  – среднее давление на основание по подошве фундамента,  $\text{кН/м}^2$ ;  
 $\sigma_{zq_0}$  – природное напряжение в уровне подошвы фундамента,  $\text{кН/м}^2$ .

$$\sigma_{zр_0} = 360 - 28,15 = 331,85 \text{ кН/м}^2$$

5. Строим эпюру дополнительных напряжений  $\sigma_{zр}$  под подошвой фундамента.  $\sigma_{zр} = \alpha \cdot \sigma_{zр_0}$ ,

где  $\alpha$  – коэффициент, принимаемый по таблице 1 приложения 2 [2] в зависимости от формы подошвы фундамента, соотношения сторон прямоугольного фундамента  $\eta = l/b$  и относительной глубины, равной  $\zeta = 2z/b$ ;

$z_i$  – глубина от подошвы фундамента до нижней границы  $i$ -го слоя, м;

$l$  и  $b$  – длина и ширина подошвы фундамента, м.

6. Эпюры природного напряжения  $\sigma_{zq}$  и дополнительного напряжения  $\sigma_{zр}$  строим до глубины  $H_c$ , которая называется нижней границей сжимаемой толщи В.С. Нижняя граница сжимаемой толщи может приниматься по подошве  $i$ -го слоя грунта, для которого будет выполнено условие:

$$\sigma_{zр} \leq 0,2\sigma_{zq}.$$

$$\sigma_{zр} \leq 0,2 \cdot 214,59 = 42,92 \text{ кН/м}^2$$

Строим вспомогательную эпюру природного давления  $0,2\sigma_{zq}$ .

7. Определяем среднее дополнительное напряжение в  $i$ -ом слое грунта

$$\sigma_{zрc_i} = \frac{\sigma_{zр_i} + \sigma_{zр_{i+1}}}{2},$$

где  $\sigma_{zр_i}$ ,  $\sigma_{zр_{i+1}}$  – дополнительные напряжения на верхней и нижней границах  $i$ -го слоя,  $\text{кН/м}^2$ .

8. Определяем осадку  $i$ -го слоя

$$s_i = \beta \frac{\sigma_{zрc_i} \cdot h_i}{E_i},$$

где  $\beta$  – безразмерный коэффициент, принимаемый для всех видов грунтов  $\beta = 0,8$ ;

$E_i$  – модуль деформации  $i$ -го слоя грунта,  $\text{кН/м}^2$ .

9. Суммируем осадку слоев в пределах сжимаемой толщи и сравниваем с предельно допустимым значением для данного сооружения.

$$\sum s_i \leq s_u,$$

где  $s_u$  – предельное значение совместной деформации основания и сооружения, допускается принимать по приложению 4 [2].

Для удобства расчета осадки все вычисления ведем в табличной форме (таблица 24).

Таблица 24 – Расчет осадки фундамента

№	$z_i, \text{ м}$	$\zeta = \frac{2z}{b}$	$\alpha$	$\sigma_{zp}, \text{ кН/м}^2$	$\sigma_{zpc}, \text{ кН/м}^2$	$h_i, \text{ м}$	$E_i, \text{ кН/м}^2$	$s_i, \text{ м}$	$\sigma_{zq}, \text{ кН/м}^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,28	0,2	0,988	327,87	326,05	0,28	15000	0,00487	33,78
2	0,56	0,4	0,977	324,22	316,26	0,28	15000	0,00472	
3	0,84	0,6	0,929	308,29	300,33	0,28	15000	0,00448	
4	1,12	0,8	0,881	292,36	281,91	0,28	15000	0,00421	
5	1,4	1	0,818	271,45	260,83	0,28	15000	0,00390	
6	1,68	1,2	0,754	250,21	240,76	0,28	15000	0,00360	
7	1,96	1,4	0,697	231,30	223,17	0,28	15000	0,00333	
8	2,2	1,57	0,648	215,04	199,11	0,24	15000	0,00255	62,40
									73,4
9	2,76	1,97	0,552	183,18	170,57	0,56	38000	0,00201	
10	3,32	2,37	0,476	157,96	147,68	0,56	38000	0,00174	
11	3,88	2,77	0,414	137,39	129,09	0,56	38000	0,00152	
12	4,44	3,17	0,364	120,79	113,83	0,56	38000	0,00134	
13	5	3,57	0,322	106,86	101,22	0,56	38000	0,00119	
14	5,56	3,97	0,288	95,57	90,43	0,56	38000	0,00107	
15	6,12	4,37	0,257	85,29	81,14	0,56	38000	0,00096	
16	6,68	4,77	0,232	76,99	73,34	0,56	38000	0,00086	
17	7,24	5,17	0,210	69,69	66,37	0,56	38000	0,00078	
18	7,8	5,57	0,190	63,05	60,40	0,56	38000	0,00071	
19	8,36	5,97	0,174	57,74	55,25	0,56	38000	0,00065	
20	8,92	6,37	0,159	52,76	49,78	0,56	38000	0,00059	
21	9,7	6,93	0,141	46,79	-	0,78	38000	-	214,59
$\sum s_i =$								0,04508	

Таким образом,  $\sum s_i = 4,5 \text{ см} < s_u = 8 \text{ см}$ , следовательно, осадка не превышает предельно допустимого значения.

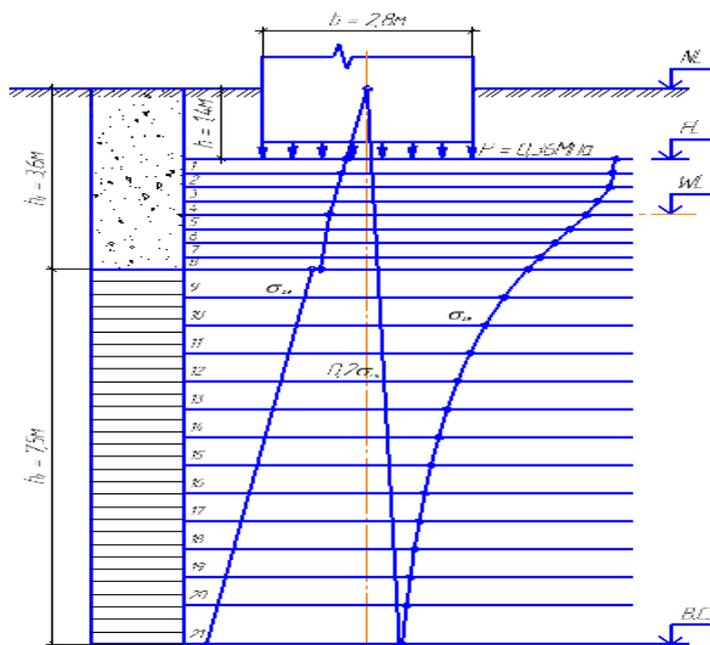


Рисунок 16 – Расчетная схема к задаче 7

$\zeta = 2z/b$	Коэффициент $\alpha$ для фундаментов							
	круглых	прямоугольных с соотношением сторон $\eta = l/b$						ленточных $\eta \geq 10$
		равным						
		1,6	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	0,181
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	0,161	0,210	0,251	0,294	0,329	0,360	0,374
3,6	0,116	0,131	0,170	0,209	0,250	0,285	0,319	0,337
4,0	0,087	0,108	0,145	0,176	0,214	0,248	0,215	0,306
4,4	0,073	0,091	0,123	0,150	0,185	0,218	0,250	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	1,113	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	1,136	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 11,2	0,013	0,016	0,022	0,029	0,037	0,049	0,069	0,117
11,6 12,0	0,012	0,015	0,021	0,027	0,035	0,045	0,065	0,113
	0,011	0,014	0,020	0,025	0,033	0,042	0,061	0,109
	0,010	0,013	0,018	0,023	0,031	0,040	0,058	0,106

### Задача 8

Равномерно распределенная в пределах прямоугольной площадки  $a \times b$  нагрузка интенсивностью  $P$  приложена к слою суглинка (мощностью  $h_1$ , с коэффициентами относительной сжимаемости  $m_{v1}$  и фильтрации  $k_{\phi 1}$ ), подстилаемому глиной ( $h_2$ ,  $k_{\phi 2}$ ). Определить по методу эквивалентного слоя полную стабилизированную осадку грунтов, изменение осадки грунтов во времени в условиях одномерной задачи теории фильтрационной консолидации, построить график стабилизации осадки  $S=f(t)$ . Исходные данные в таблице 10, схема к расчету представлена на рисунке 7.

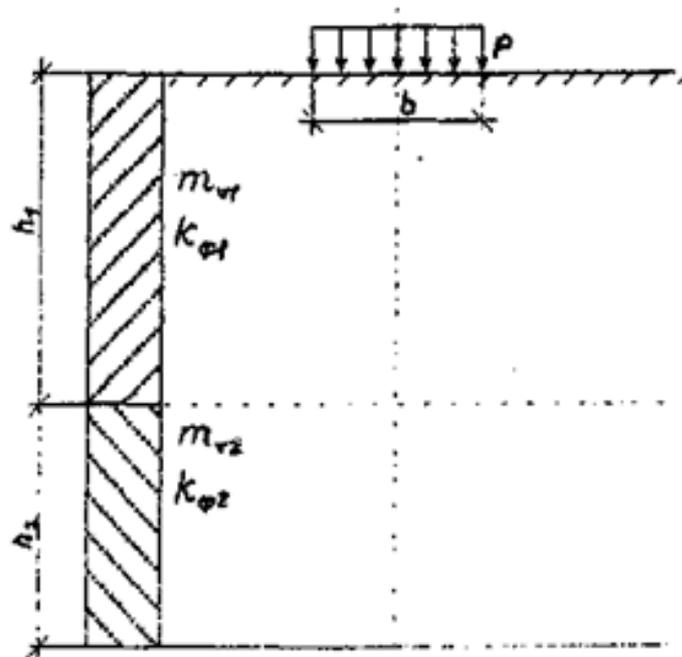


Рисунок 17 - Расчетная схема и исходные данные к задаче 8

Таблица 25

$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$P, \text{ МПа}$	$h_1, \text{ м}$	$m_{v1}, \text{ МПа}^{-1}$	$k_{\phi 1}, \text{ см/с}$	$h_2, \text{ м}$	$m_{v2}, \text{ МПа}^{-1}$	$k_{\phi 2}, \text{ см/с}$
3,6	2,4	0,19	3,1	0,065	$1,2 \cdot 10^{-8}$	4,8	0,124	$2,5 \cdot 10^{-9}$

Таблица 25а

## Данные для проектирования

Номер варианта	$a_1, \text{см}$	$b_1, \text{см}$	$P_1, \text{МПа}$	$h_1, \text{см}$	$m_{v1}, \text{МПа}$	$k_{\phi 1}, \text{см/с}$	$h_2, \text{см}$	$m_{v2}, \text{МПа}^{-1}$	$k_{\phi 2}, \text{см/с}$
1	200	200	0,24	230	0,176	$2,2 \cdot 10^{-8}$	390	0,284	$4,13 \cdot 10^{-9}$
2	220	220	0,21	280	0,139	$4,3 \cdot 10^{-8}$	410	0,215	$4,6 \cdot 10^{-9}$
3	360	240	0,19	310	0,065	$1,2 \cdot 10^{-8}$	480	0,124	$2,5 \cdot 10^{-9}$
4	350	175	0,17	320	0,076	$2,4 \cdot 10^{-7}$	350	0,381	$1,8 \cdot 10^{-8}$
5	560	280	0,22	380	0,105	$5,1 \cdot 10^{-8}$	560	0,245	$6,9 \cdot 10^{-9}$
6	300	200	0,23	280	0,087	$2,3 \cdot 10^{-8}$	430	0,147	$3,8 \cdot 10^{-9}$
7	320	320	0,18	240	0,148	$1,4 \cdot 10^{-7}$	580	0,258	$5,6 \cdot 10^{-8}$
8	380	190	0,28	390	0,105	$2,7 \cdot 10^{-8}$	340	0,276	$1,6 \cdot 10^{-9}$
9	190	190	0,16	180	0,222	$1,7 \cdot 10^{-7}$	440	0,065	$8,4 \cdot 10^{-8}$
0	250	250	0,26	270	0,099	$6,4 \cdot 10^{-8}$	470	0,196	$3,2 \cdot 10^{-9}$

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

## Решение

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

$$s = h_3 \cdot m_{vm} \cdot P,$$

где  $h_3$  – толщина эквивалентного слоя грунта, м;

$m_{vm}$  – средний коэффициент относительной сжимаемости грунта,  $\text{МПа}^{-1}$ ;

$P$  – давление на грунт по подошве площадки, МПа.

Толщина эквивалентного слоя грунта  $h_3$  определяется по формуле:

$$h_3 = A_{\omega} \cdot b,$$

где  $A_{\omega}$  – коэффициент эквивалентного слоя грунта, принимаемый по таблице 5.6 [5];

$b$  – меньшая сторона площадки нагружения, м.

По условию рассматриваемой задачи для абсолютно жесткого фундамента ( $A_{\omega \text{const}}$ ), при коэффициенте относительной поперечной деформации  $\mu_0 = 0,3$  и соотношении сторон подошвы фундамента  $\alpha = l/b = 3,6/2,4 = 1,5$ , коэффициент эквивалентного слоя  $A_{\omega} = 1,32$ .

$$h_3 = 1,32 \cdot 2,4 = 3,2 \text{ м}$$

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

$$m_{vm} = \frac{1}{2h_3^2} \sum h_i m_{v_i} z_i,$$

где  $h_i$  – толщина отдельных слоев грунта до глубины  $H = 2h_3$ , м;

$m_{v_i}$  – коэффициент относительной сжимаемости  $i$ -го слоя грунта,  $\text{МПа}^{-1}$ ;

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

Высота сжимаемой толщи:  $H = 2h_3 = 2 \cdot 3,2 = 6,4$  м.

$$h'_1 = h_1 = 3,1 \text{ м}$$

$$z_1 = H - h'_1/2 = 6,4 - 3,1/2 = 4,85 \text{ м}$$

$$h'_2 = H - h'_1 = 6,4 - 3,1 = 3,3 \text{ м}$$

$$z_2 = h'_2/2 = 3,3/2 = 1,65 \text{ м}$$

$$m_{vm} = \frac{1}{2 \cdot 3,2^2} (3,1 \cdot 0,065 \cdot 4,85 + 3,3 \cdot 0,124 \cdot 1,65) = 0,08 \text{ МПа}^{-1}$$

Полная стабилизированная осадка

$$s = 3,2 \cdot 0,08 \cdot 0,19 = 0,049 \text{ м} = 4,9 \text{ см}$$

В соответствии с фильтрационной теорией консолидации осадку, происходящую за время  $t$ , определяют по формуле:

$$s_t = s \cdot U,$$

где  $s$  – полная стабилизированная осадка, см;

$U$  – степень консолидации (уплотнения), представляющая собой долю от полной осадки за время  $t$ .

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

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

где  $e$  – основание натуральных логарифмов;

$N$  – коэффициент, зависящий от условий фильтрации.

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

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

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

где  $k_{\phi m}$  – средний коэффициент фильтрации, см/с;

$\rho_w$  – плотность воды ( $\rho_w = 10 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$ ).

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

где  $k_{\phi i}$  – коэффициент фильтрации  $i$ -го слоя грунта, см/с;

$h_i$  – мощность  $i$ -го слоя грунта в пределах сжимаемой толщи, см.

$$k_{\phi m} = \frac{640}{\frac{310}{1,2 \cdot 10^{-8}} + \frac{330}{2,5 \cdot 10^{-9}}} = 4,1 \cdot 10^{-9} \text{ см/с}$$

$$k_{\phi m} = 4,1 \cdot 10^{-9} \text{ см/с} \cdot 3,15 \cdot 10^7 \text{ см/год} = 0,130 \text{ см/год}$$

$$c_{vm} = \frac{4,1 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-2}}{0,08 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^3} = 51,25 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с} = 51,25 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$$

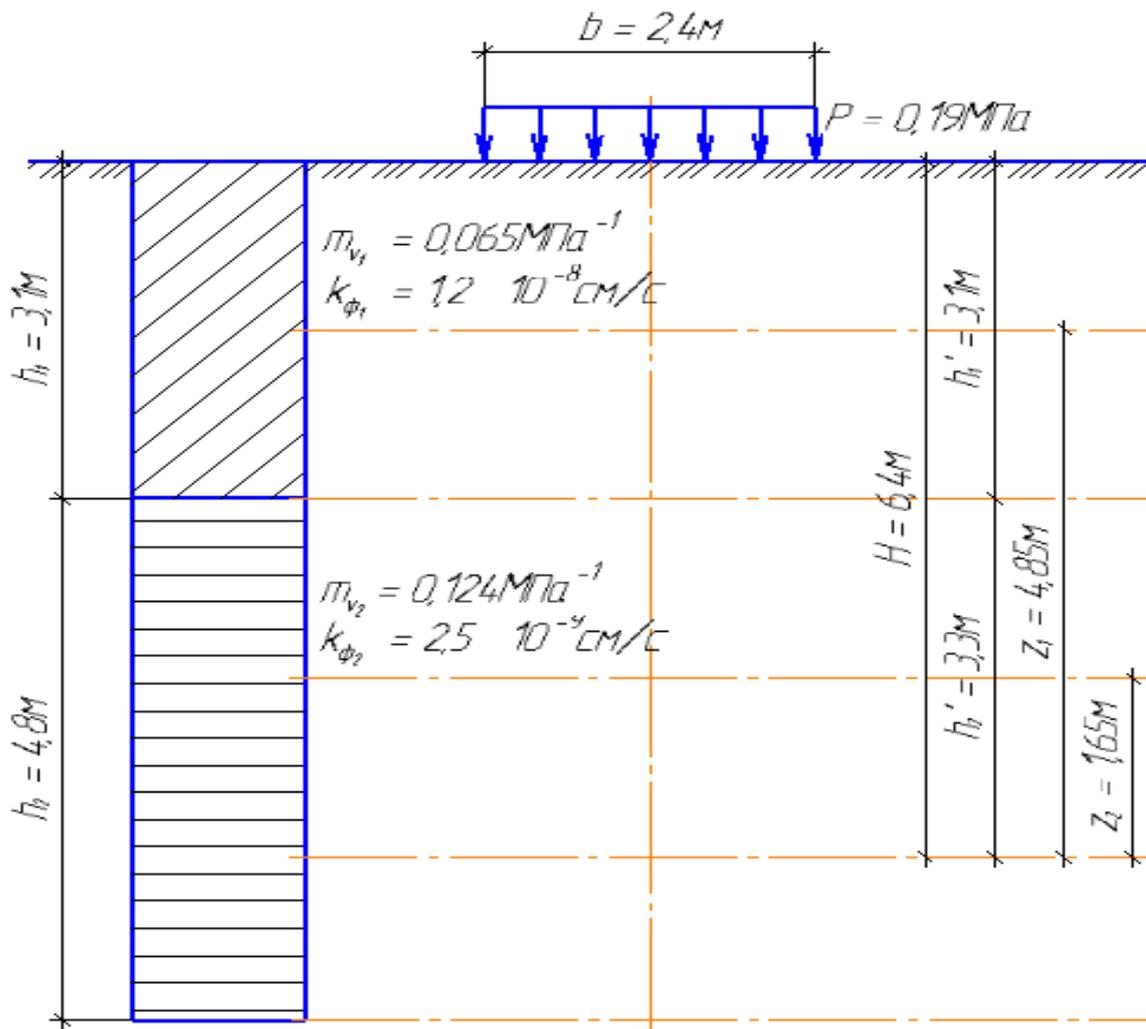


Рисунок 18 - Расчетная схема к задаче 8

Задаваясь той или иной степенью консолидации (например,  $U = 0,1; 0,2; 0,3$  и т. д.), принимают по таблицам соответствующие значения коэффициента  $N$  (для случая убывания давлений с глубиной по треугольной эпюре) и, используя зависимость для  $N$ , определяют время  $t$ , соответствующее данной степени фильтрационной консолидации:

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

$$t = \frac{4 \cdot 640^2}{3,14^2 \cdot 51,25 \cdot 10^{-5}} \cdot N = 323\,911,467 \cdot N \text{ (сек)} \approx 10,3 \cdot N \text{ (года)}$$

Дальнейшие вычисления оформим в виде таблицы (таблица 14).

Таблица 26 – Расчет изменения осадки во времени

U	N	$t = 10,3 \cdot N$ , года	$s_t = s \cdot U$ , см
0,1	0,005	0,052	0,49
0,2	0,02	0,206	0,98
0,3	0,06	0,618	1,47
0,4	0,13	1,339	1,96
0,5	0,24	2,472	2,45
0,6	0,42	4,326	2,94
0,7	0,69	7,107	3,43
0,8	1,08	11,124	3,92
0,9	1,77	18,231	4,41
0,95	2,54	26,162	4,66

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

По полученным значениям строим график затухания осадки во времени

## Литература

1. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. М.: Издательство стандартов, 1995.
2. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1985. 40 с.
3. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты: учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1981. 319 с., ил.
4. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов: учебник для вузов. М.: Высш. школа, 1982. 511 с., ил.
5. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): учебник для строит. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1983. 288 с., ил.
6. Безик Д.А., Романеев Н.А. Расчеты напряженного состояния элементов грузоподъемных машин с использованием современного программного обеспечения // Подъемно-транспортное дело. 2008. № 1 (45). С. 2-5.
7. Варывдин В.В., Романеев Н.А., Безик Д.А. Использование компьютерных программ в процессе проектирования техники для сельского хозяйства // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2011. № 1 (10). С. 51-55.

Учебное издание

Елена Валентиновна Байдакова  
Николай Александрович Романеев  
Валентина Николаевна Кровопускова

# **ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОГО ДЕЛА**

(Механика грунтов, основания и фундаменты)

**Методические указания**  
к выполнению курсовой работы  
для студентов очной и заочной форм обучения  
по направлению: природообустройство и водопользование

Редактор Осипова Е.Н

---

Подписано к печати 02.05.2023 г. Формат 60x84, 1/16.  
Бумага офсетная. Усл. п. л. 3,83. Тираж 25 экз. Изд. №7528.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ