

Пример 2.1.

Определить основные размеры центрально нагруженного ленточного сборного фундамента наружной стены девятиэтажного жилого дома.

Здание имеет подвал, пол которого на 1,3 м ниже уровня поверхности грунта, $d_b = 1,3$ м (рис. 2.7).

Пол подвала бетонный с цементной стяжкой, общая толщина конструкции пола $h_{cf} = 0,1$ м.

Планировочная отметка совпадает с природным рельефом.

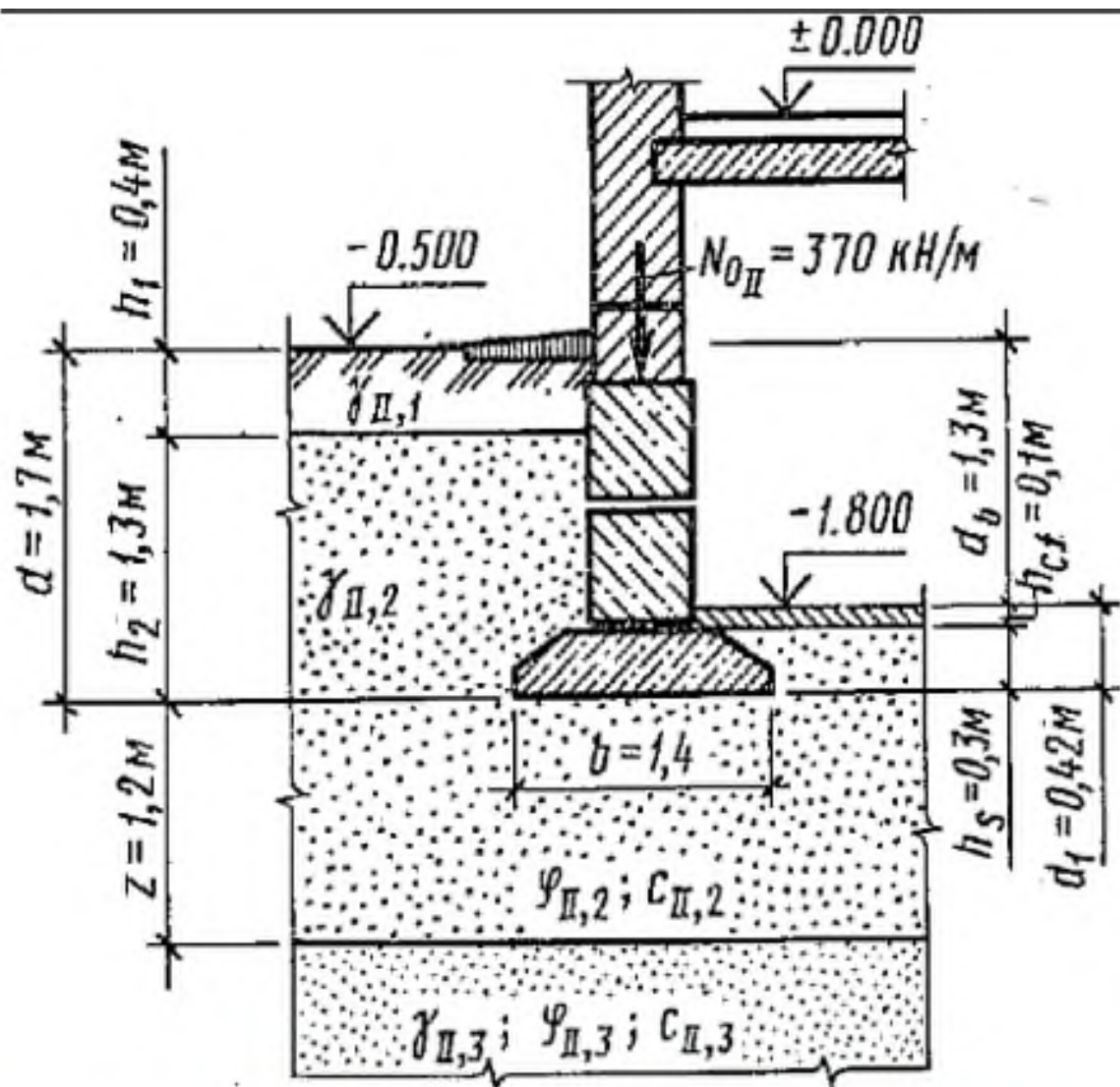


Рис. 2.7. Расчетная схема к примеру 2.1

Расчетная вертикальная нагрузка на 1 м фундамента составляет $N_{oII} = 370$ кН.

Строительная площадка под проектируемое здание имеет следующее геологическое строение:

I — растительный слой мощностью $h_1 = 0,4$ м ($\gamma_{II} = 17$ кН/м³);

II — песок средней крупности, средней плотности, мощность слоя 2,5 м ($\gamma_{II} = 19,1$ кН/м³); $\gamma_s = 26,5$ кН/м³; $w = 19\%$; $e = 0,65$; $\varphi_{II} = 30^\circ$; $c_{II} = 2$ кПа; $E = 25$ МПа);

III — песок пылеватый, средней плотности, влажный, мощность слоя 2,6 м ($\gamma_{II} = 18,4 \text{ кН/м}^3$; $\gamma_s = 26,5 \text{ кН/м}^3$; $w = 18\%$; $e = 0,7$; $\varphi_{II} = 24^\circ$; $c_{II} = 4 \text{ кПа}$; $E = 14,5 \text{ МПа}$);

IV — супесь твердая, мощность слоя 4,8 м ($\gamma_{II} = 21 \text{ кН/м}^3$; $\gamma_s = 27,5 \text{ кН/м}^3$; $w = 20,1\%$; $e = 0,57$; $\varphi_{II} = 25^\circ$; $c_{II} = 14 \text{ кПа}$; $E = 22 \text{ МПа}$);

V — глина полутвердая, мощность слоя 1,8 м ($\gamma_{II} = 20 \text{ кН/м}^3$; $\gamma_s = 27,7 \text{ кН/м}^3$; $w = 20\%$; $e = 0,55$; $\varphi_{II} = 20^\circ$; $c_{II} = 65 \text{ кПа}$; $E = 28,2 \text{ МПа}$).

Уровень подземных вод находится на глубине 5,5 м.

Выбираем глубину заложения фундамента d. По конструктивным условиям фундамент должен быть заложен на 0,1-0,5 м ниже пола в подвале.

*При толщине пола - 0,1 м, фундаментной подушки - 0,3 м, глубина заложения составит:
 $1,3 + 0,1 + 0,3 = 1,7$ м (рис. 2.7).*

По геологическим условиям фундамент также можно заложить на глубину 1,7 м.

Рабочим (несущим) слоем будет песок средней крупности.

Подстилающий слой менее прочный (пылеватый песок средней плотности). Это следует учесть при проектировании.

Поскольку глубина промерзания для песков средней крупности не учитывается, глубину заложения фундамента d оставляем равной 1,7 м.

Ширину подошвы фундамента b определяем графически. Для грунтов, характеризуемых углом внутреннего трения $\varphi_{II}=30^\circ$, по табл. 6.1 находим: $M_\gamma=1,15$; $M_q=5,59$; $M_c=7,95$.

Коэффициенты условий работы γ_{c1} и γ_{c2} принимаем по табл. 2.3 для песка средней крупности $\gamma_{c1}=1,4$; $\gamma_{c2}=1,2$.

Коэффициент k принимаем равным единице, так как характеристики грунтов определены по данным их испытаний.

Таблица 2.3. Коэффициенты условий работы: γ_{c1} и γ_{c2}

Грунты	Коэффициент γ_{c1}	Коэффициент γ_{c2} для сооружений с жесткой конструктивной схемой при отношении длины сооружения или его отсека к высоте L/H , равном	
		4 и более	1,5 и менее
Крупнообломочные с песчаным заполнителем и пески, кроме мелких и пылеватых	1,4	1,2	1,4
Пески мелкие	1,3	1,1	1,3
Пески пылеватые: маловлажные и влажные насыщенные водой	1,25	1,0	1,2
	1,1	1,0	1,2
Глинистые, а также крупнообломочные с глинистым заполнителем с показателем текучести грунта или заполнителя $I_L \leq 0,25$	1,25	1,0	1,1
То же, при $0,25 < I_L \leq 0,5$	1,2	1,0	1,1
То же, при $I_L > 0,5$	1,1	1,0	1,0

Примечания.

1 К сооружениям с жесткой конструктивной схемой относят сооружения, конструкции которых специально приспособлены к восприятию усилий от деформации оснований, в том числе за счет специальных мероприятий.

2 Для зданий с гибкой конструктивной схемой значение коэффициента γ_{c2} принимают равным единице.

3 При промежуточных значениях L/H коэффициент γ_{c2} определяют интерполяцией.

4 Для рыхлых песков γ_{c1} и γ_{c2} принимают равными единице.

Таблица 2.4. Безразмерные коэффициенты: M_γ , M_q , M_c

Угол внутреннего трения $\varphi_{\text{вн}}$, град.	Коэффициенты			Угол внутреннего трения $\varphi_{\text{вн}}$, град.	Коэффициенты		
	M_γ	M_q	M_c		M_γ	M_q	M_c
0	0	1,00	3,14	23	0,66	3,65	6,24
1	0,01	1,06	3,23	24	0,72	3,87	6,45
2	0,03	1,12	3,32	25	0,78	4,11	6,67
3	0,04	1,18	3,41	26	0,84	4,37	6,90
4	0,06	1,25	3,51	27	0,91	4,64	7,14
5	0,08	1,32	3,61	28	0,98	4,93	7,40
6	0,10	1,39	3,71	29	1,06	5,25	7,67
7	0,12	1,47	3,82	30	1,15	5,59	7,95
8	0,14	1,55	3,93	31	1,24	5,95	8,24
9	0,16	1,64	4,05	32	1,34	6,34	8,55
10	0,18	1,73	4,17	33	1,44	6,76	8,88
11	0,21	1,83	4,29	34	1,55	7,22	9,22
12	0,23	1,94	4,42	35	1,68	7,71	9,58
13	0,26	2,05	4,55	36	1,81	8,24	9,97
14	0,29	2,17	4,69	37	1,95	8,81	10,37
15	0,32	2,30	4,84	38	2,11	9,44	10,80
16	0,36	2,43	4,99	39	2,28	10,11	11,25
17	0,39	2,57	5,15	40	2,46	10,85	11,73
18	0,43	2,73	5,31	41	2,66	11,64	12,24
19	0,47	2,89	5,48	42	2,88	12,51	12,79
20	0,51	3,06	5,66	43	3,12	13,46	13,37
21	0,56	3,24	5,84	44	3,38	14,50	13,98
22	0,61	3,44	6,04	45	3,66	15,64	14,64

Осредненное значение удельного веса грунтов, залегающих выше подошвы фундаментов, будет

$$\gamma'_m = (0,4 \times 17 + 1,3 \times 19,1)/(0,4 + 1,3) = 18,6 \text{ кН/м}^3.$$

Приведенную глубину заложения фундамента от уровня пола подвала d_1 определяем по формуле (2.12) при удельном весе материала пола подвала $\gamma_{cf} = 22 \text{ кН/м}^3$:

$$d_1 = 0,3 + 0,1 \times 22/18,6 = 0,42 \text{ м.}$$

Первый график $R=f(b)$ по формуле (2.11) строим по двум точкам: при $b = 0$

$$R = [(1,4 \times 1,2)/1] \times [5,59 \times 0,42 \times 18,6 + (5,59 - 1) \times 1,3 \times 18,6 + 7,95 \times 2] = 286 \text{ кПа};$$

при $b=2$ м

$$R = [(1,4 \times 1,2)/1] \times [1,15 \times 2 \times 19,1 + 5,59 \times 0,42 \times 18,6 + (5,59-1) \times 1,3 \times 18,6 + 7,95 \times 2] = 360 \text{ кПа};$$

Подставляя в формулу $p_{\Pi} = N_{o\Pi}/A + \gamma_m d$ несколько значений b и постоянное значение величины $\gamma_m d = 20 \times 1,7 = 34$ кПа, находим соответствующие значения p_{Π} для второго графика:

$$\text{для } b=1 \text{ м} \quad p_{\Pi} = 370/1 + 34 = 404 \text{ кПа};$$

$$\gg b = 1,2 \text{ м} \quad p_{\Pi} = 370/1,2 + 34 = 342 \text{ кПа};$$

$$\gg b = 1,4 \text{ м} \quad p_{\Pi} = 370/1,4 + 34 = 298 \text{ кПа};$$

$$\gg b = 1,6 \text{ м} \quad p_{\Pi} = 370/1,6 + 34 = 265 \text{ кПа};$$

$$\gg b = 2 \text{ м} \quad p_{\Pi} = 370/2 + 34 = 219 \text{ кПа}.$$

По полученным данным строим графики $R=f(b)$ и $p=f(b)$ (рис. 2.8). Точка пересечения двух графиков дает величину $b \approx 1,25$ м.

Принимаем ширину фундамента $b = 1,4$ м, которая соответствует размеру фундаментной подушки из сборных железобетонных плит ФЛ 14.24.

Расчетное сопротивление грунта R для принятой ширины подошвы фундамента составит

$$R = [(1,4 \times 1,2) / 1] \times [1,15 \times 1,4 \times 19,1 + 5,59 \times 0,52 \times 18,6 + (5,59 - 1) \times 1,3 \times 18,6 + 7,95 \times 2] = 338 \text{ кПа.}$$

Проверяем фактическое давление фундамента на основание $p_{\text{ф}}$

Нагрузка от 1 м фундамента и грунта на его уступах:

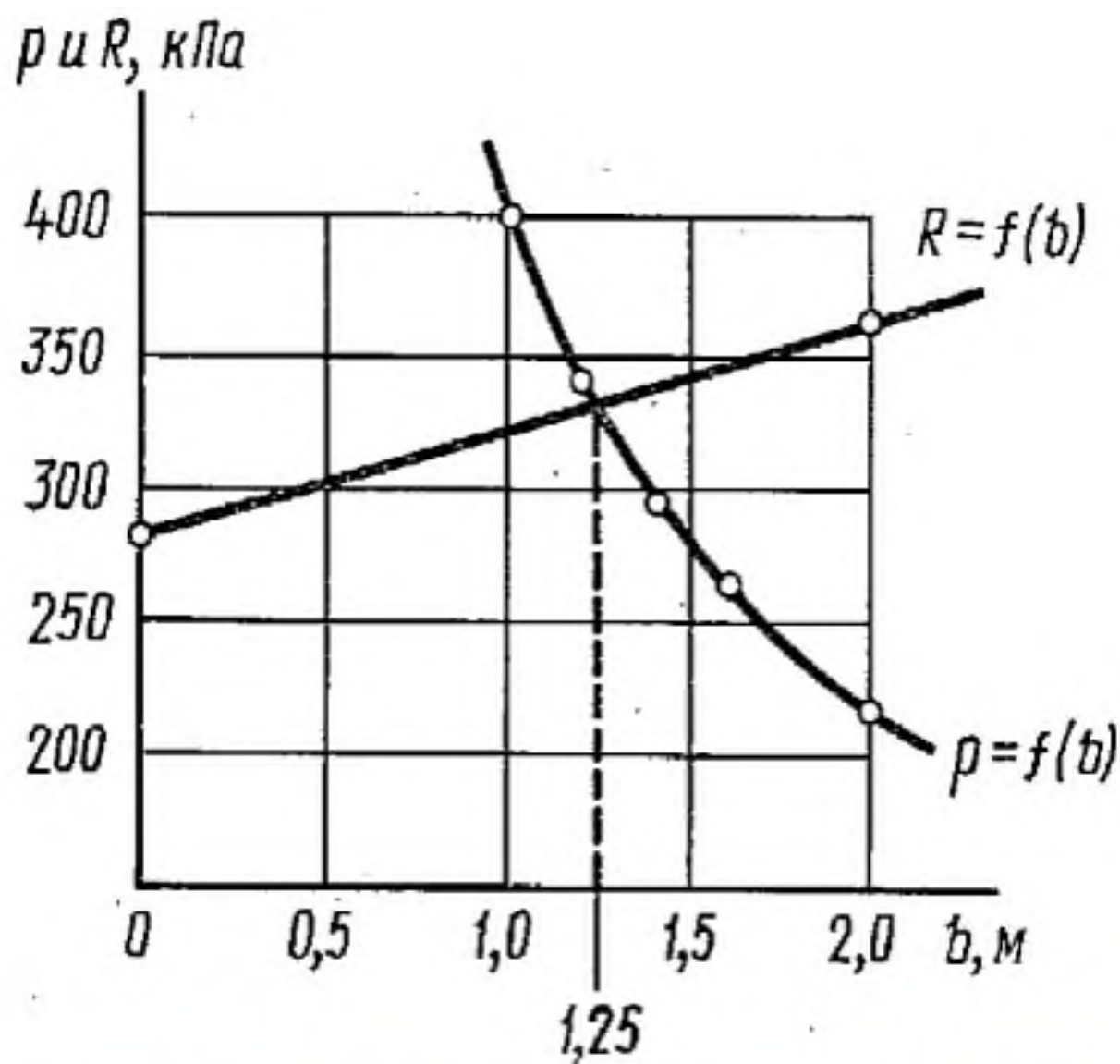


Рис. 2.8. Графический способ определения ширины подошвы фундамента (пример 2.1)

от фундаментной подушки при ее весе 21,8 кН и длине 2,38 м

$$21,8/2,38 = 9,22 \text{ кН/м};$$

от блоков стены при весе одного блока марки ФБС 24-6-6, равном 19,6 кН

$$19,6 \times 2/2,38 = 16,5 \text{ кН/м};$$

от грунта $\gamma'_{II}=18,6 \text{ кН/м}^3$) с одной стороны уступа фундамента при толщине стены подвала 0,6 м

$$0,4 \times 1,4 \times 1 \times 18,6 = 10,4 \text{ кН/м}.$$

Полная нагрузка от веса фундамента и грунта
 $9,22 + 16,5 + 10,4 = 36,12 \text{ кН/м}.$

Фактическое давление фундамента на основание

$$p_{II} = (370 + 36,12)/(1 \times 1,4) = 290 \text{ кПа} < 338 \text{ кПа}.$$

Условие (2.3) удовлетворяется.

Проверяем давление на слабый подстилающий слой (песок пылеватый), залегающий на глубине 2,9 м, т. е. на расстоянии $z=1,2$ м ниже подошвы фундамента.

По формуле $\sigma_{zg} = \gamma z$ определяем природное давление грунта на глубине заложения фундамента:

$$\sigma_{zg,0} = 17 \times 0,4 + 19,1 \times 1,3 = 32 \text{ кПа.}$$

Природное давление на кровлю пылеватого песка

$$\sigma_{zg} = 17 \times 0,4 + 19,1 \times 2,5 = 55 \text{ кПа.}$$

Дополнительное давление на основание под подошвой фундамента

$$P_0 = \underline{P_{II}} - \sigma_{zg,0} = 290 - 32 = 258 \text{ кПа.}$$

Дополнительное давление на кровлю подстилающего слоя на глубине $z=1,2$ м определяем по формуле $\sigma_{zp} = \alpha P_0$

Для $m=\xi = 2 \times 1,2/1,4 = 1,7$ и $n = \eta > 10$
(ленточный фундамент) по табл 2.5 находим $\alpha = 0,619$, отсюда

$$\sigma_{zp} = 0,619 \times 258 = 160 \text{ кПа.}$$

Полное давление на кровлю подстилающего слоя составит

$$\sigma_{zp} + \sigma_{zg} = 160 + 55 = 215 \text{ кПа.}$$

Ширину условного ленточного фундамента определяем по формуле $b_z = N_{oII} / \sigma_{zp}$,

$$b_z = 370/160 = 2,3 \text{ м.}$$

Расчетное сопротивление грунта R_z подстилающего слоя находим по формуле (2.11).

По табл. 2.4 для $\varphi_{II} = 24^\circ$; находим: $M_\gamma = 0,72$;
 $M_q = 3,85$; $M_c = 6,45$.

По табл. 2.3 для песка пылеватого влажного
находим $\gamma_{c1} = 1,25$; $\gamma_{c2} = 1$.

Принимаем коэффициенты $k = 1$, $k_z = 1$.

Осредненное расчетное значение удельного веса
грунтов γ'_{II} , залегающих выше подстилающего
слоя, определяем:

$$\gamma'_{II} = (17 \times 0,4 + 19,1 \times 2,5) / (0,4 + 2,5) = 18,6 \text{ кН/м}^3.$$

Приведенная глубина заложения условного
фундамента от уровня пола в подвале до
подстилающей слоя

$$d_1 = (2,9 - 1,3 - 0,1) + 0,1 \times 22 / 18,8 = 1,6 \text{ м.}$$

Для принятых условий расчетное
сопротивление R_z грунта подстилающего слоя
равно:

ξ	Коэффициент α для фундаментов							Таблица 2.5
	круглых	прямоугольных с соотношением сторон $\eta = l/b$, равным						ленточны
		1,0	1,4	1,8	2,4	3,2	5	х ($\eta \geq 10$)
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,4	0,949	0,960	0,972	0,975	0,976	0,977	0,977	0,977
0,8	0,756	0,800	0,848	0,866	0,876	0,879	0,881	0,881
1,2	0,547	0,606	0,682	0,717	0,739	0,749	0,754	0,755
1,6	0,390	0,449	0,532	0,578	0,612	0,629	0,639	0,642
2,0	0,285	0,336	0,414	0,463	0,505	0,530	0,545	0,550
2,4	0,214	0,257	0,325	0,374	0,419	0,449	0,470	0,477
2,8	0,165	0,201	0,260	0,304	0,349	0,383	0,410	0,420
3,2	0,130	0,160	0,210	0,251	0,294	0,329	0,360	0,374
3,6	0,106	0,131	0,173	0,209	0,250	0,285	0,319	0,337
4,0	0,087	0,108	0,145	0,176	0,214	0,248	0,285	0,306
4,4	0,073	0,091	0,123	0,150	0,185	0,218	0,255	0,280
4,8	0,062	0,077	0,105	0,130	0,161	0,192	0,230	0,258
5,2	0,053	0,067	0,091	0,113	0,141	0,170	0,208	0,239
5,6	0,046	0,058	0,079	0,099	0,124	0,152	0,189	0,223
6,0	0,040	0,051	0,070	0,087	0,110	0,136	0,173	0,208
6,4	0,036	0,045	0,062	0,077	0,099	0,122	0,158	0,196
6,8	0,031	0,040	0,055	0,069	0,088	0,110	0,145	0,185
7,2	0,028	0,036	0,049	0,062	0,080	0,100	0,133	0,175
7,6	0,024	0,032	0,044	0,056	0,072	0,091	0,123	0,166
8,0	0,022	0,029	0,040	0,051	0,066	0,084	0,113	0,158
8,4	0,021	0,026	0,037	0,046	0,060	0,077	0,105	0,150
8,8	0,019	0,024	0,033	0,042	0,055	0,071	0,098	0,143
9,2	0,017	0,022	0,031	0,039	0,051	0,065	0,091	0,137
9,6	0,016	0,020	0,028	0,036	0,047	0,060	0,085	0,1 32
10,0	0,015	0,019	0,026	0,033	0,043	0,056	0,079	0,126
10,4	0,014	0,017	0,024	0,031	0,040	0,052	0,074	0,122
10,8	0,013	0,016	0,022	0,029	0,037	0,049	0,069	0,117
11,2	0,012	0,015	0,021	0,027	0,035	0,045	0,065	0,113
11,6	0,011	0,014	0,020	0,025	0,033	0,042	0,061	0,109
12,0	0,010	0,013	0,018	0,023	0,031	0,040	0,058	0,106

Примечания

1 В таблице обозначено: b - ширина или диаметр фундамента, l - длина фундамента.

2 Для промежуточных значений ξ и η коэффициенты α определяют интерполяцией.

$$R_z = [(1,25 \times 1)/1] \times [0,72 \times 2,3 \times 18,4 + 3,85 \times 1,6 \times 18,8 + (3,85 - 1) \times 1,3 \times 18,8 + 6,45 \times 4] = 303 \text{ кПа.}$$

Проверяем условие (2.13):

$$\sigma_{zp} + \sigma_{zg} = 215 \text{ кПа} < R_z = 303 \text{ кПа.}$$

Проверяемое условие удовлетворяется, поэтому оставляем принятую ширину ленточного фундамента $b = 1,4 \text{ м.}$