

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА
Инженерно-строительный институт
Кафедра «Геотехника и дорожное строительство»

Пояснительная записка
к курсовой работе по дисциплине: «Основания и фундаменты, подземные
сооружения»
На тему: «Оценка устойчивости шпунтовой стенки»

Принял:

к.т.н. доц.

Кузнецов А. А.

«_____» _____ 20 23 г.

Выполнил:

студент группы 22Ст3м

Чупряков М.А

Пенза 2023 г.

Содержание

1. Характеристики грунтов	3
2. Расчет шпунтовой стенки по осредненным показателям	5
2.1. Определение коэффициентов активного и пассивного давлений	5
2.2. Определение активного и пассивного давлений	5
2.3. Расчет на опрокидывание нераскрепленной стенки	7
2.4. Расчет на опрокидывание раскрепленной стенки	7
3. Расчет шпунтовой стенки по уточненным характеристикам	8
3.1. Определение коэффициентов активного и пассивного давлений	9
3.2. Определение активного и пассивного давлений	9
3.3. Расчет на опрокидывание нераскрепленной стенки	11
3.4. Расчет на опрокидывание раскрепленной стенки	12
4. Графоаналитический метод расчета шпунтовой стенки	13
Список использованной литературы	15

1. Характеристики грунтов

Рассмотрим задачу – определим необходимую длину заделки шпунтовой стенки из условия обеспечения устойчивости ограждения. В качестве инженерно-геологических данных примем инженерно-геологический разрез, изображенный на рис. 1.

Физико-механические характеристики слоёв грунта с исходными данными инженерно-геологических изысканий приведены в табл. 1.

Ограждением будет являться металлический шпунт.

Нормативные (II -ая группа предельных состояний)

$c_{II} = c$ – из задания;

$\varphi_{II} = \varphi$ – из задания;

$\gamma_{II} = \gamma$ – из задания.

Таблица 1. Физико-механические характеристики грунтов

Наименование грунта	Мощность слоя, м	γ , кН/м ³	φ , град.	c , кПа
ПРС	0,5	15.00	-	-
Песок мелкий	5,5	18.60	28	-
Песок мелкий	11,1	18.10	27	-
Суглинки	-	18.50	13	11

Начальная длина шпунтовой стенки $H_{ст}=12$ м;

Глубина котлована $h_k = 7,0$ м;

Величина нагрузки $q = 25$ кН/м²

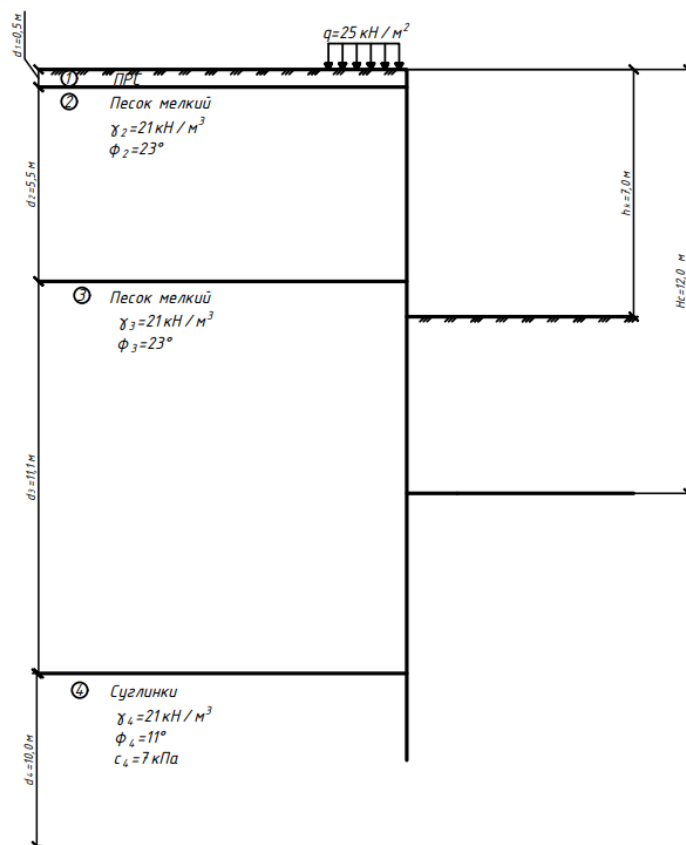


Рисунок 1. Расчетная схема

2. Расчет шпунтовой стенки по осредненным показателям

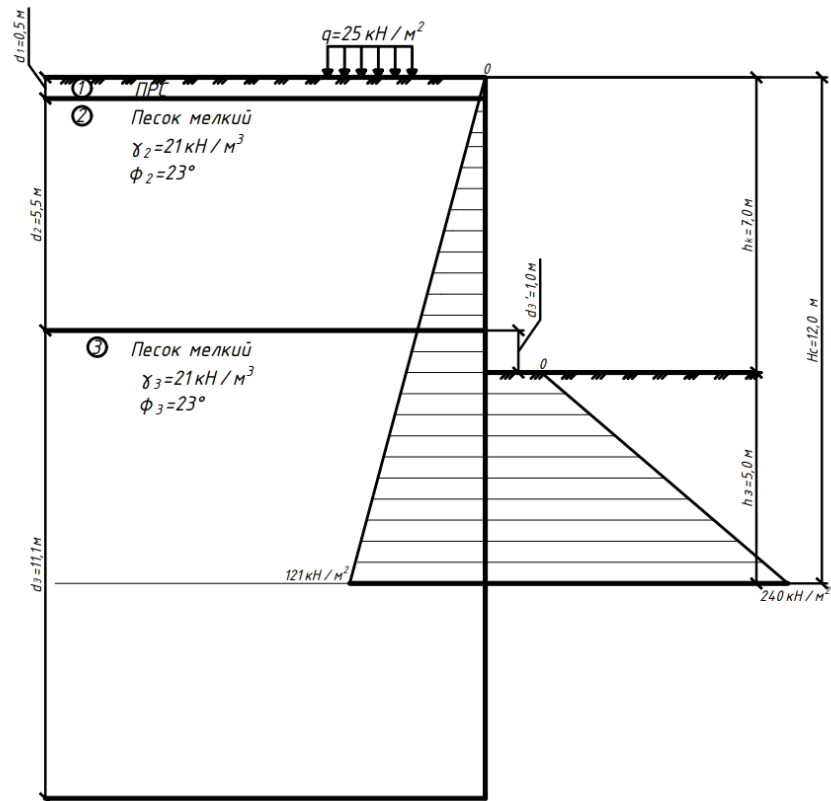


Рисунок 2. Схема к расчету на устойчивость по осредненным характеристикам

Определение средних значений характеристик грунтов

$$c_{cpI} = 0 \text{ кПа}$$

$$\gamma_{cpI} = \frac{\gamma_{2I} * d_2 + \gamma_{3I} * d_3}{d_2 + d_3} = \frac{21 * 5,5 + 21 * 6}{5,5 + 6} = 21 \text{ кН/м}^3$$

$$\varphi_{cpI} = \frac{\varphi_{2I} * d_2 + \varphi_{3I} * d_3}{d_2 + d_3} = \frac{23 * 5,5 + 23 * 6}{5,5 + 6} = 23^\circ$$

2.1. Определение коэффициентов активного и пассивного давлений

$$\lambda_a = tg \left(45 - \frac{\varphi_{cp}}{2} \right) = tg \left(45 - \frac{23}{2} \right) = 0,66$$

$$\lambda_p = tg \left(45 + \frac{\varphi_{cp}}{2} \right) = tg \left(45 + \frac{23}{2} \right) = 1,51$$

2.2. Определение активного и пассивного давлений

Активное давление:

$$\sigma_a = (\gamma z + g) \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) - 2 * c * \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_{\text{ср}}}{2} \right)$$

$$\sigma_a = (\gamma z + g) \lambda_a^2 - 2 * c * \lambda_a$$

при $z=0$:

$$\sigma_a = 0 \text{ кПа}$$

при $z=H_c=12 \text{ м}$:

$$\sigma_a = (\gamma * H_c + g) \lambda_a^2 - 2 * c * \lambda_a = (21 * 12 + 25) * 0,66^2 - 2 * 0 * 0,66 = 121 \text{ кПа}$$

Пассивное давление:

$$\sigma_p = \gamma z \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2 * c * \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\varphi_{\text{ср}}}{2} \right)$$

$$\sigma_p = \gamma z \lambda_p^2 - 2 * c * \lambda_p$$

при $z=0$:

$$\sigma_p = 0 \text{ кПа}$$

при $z=H_c-h_k=12-7=5 \text{ м}$:

$$\sigma_p = \gamma_{\text{ср}} (H_c - h_k) \lambda_p^2 + 2 * c * \lambda_p = 21 * (12 - 7) * 1,51^2 + 2 * 0 * 1,51 = 240 \text{ кПа}$$

Равнодействующая активного и пассивного давлений

Активное давление:

$$r_a = \frac{1}{3} H = \frac{1}{3} 12 = 4 \text{ м}$$

$$E_a = \frac{1}{2} H * \sigma_a = \frac{1}{2} 12 * 121 = 726 \text{ кН}$$

Пассивное давление:

$$E_p = \frac{\sigma_{p0} + \sigma_{pH}}{2} (H_c - h_k) = \frac{0 + 240}{2} (12 - 7) = 600 \text{ кН}$$

$$A_{\text{пр}} = \sigma_{p0} (H_c - h_k) = 0 * (12 - 7) = 0$$

$$A_{\text{тр}} = \frac{\sigma_{pH} - \sigma_{p0}}{2} (H_c - h_k) = \frac{240 - 0}{2} (12 - 7) = 600$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{1}{2} (H_c - h_k) = 2,5 \text{ м}$$

$$r_{\text{тр}} = \frac{1}{3} (H_c - h_c) = 1,67 \text{ м}$$

$$r_p = \frac{A_{\text{пр}} * r_{\text{пр}} + A_{\text{тр}} * r_{\text{тр}}}{A_{\text{пр}} + A_{\text{тр}}} = \frac{0 * 2,5 + 600 * 1,67}{0 + 600} = 1,67 \text{ м}$$

2.3. Расчет на опрокидывание нераскрепленной стенки

Найдем отношение удерживающего момента к опрокидывающему.

$$\eta = \frac{M_{уд}}{M_{опр}} \geq 1,3$$

$$M_{уд} = E_p * r_p = 600 * 1,67 = 1002 \text{ кН} * \text{м}$$

$$M_{опр} = E_a * r_a = 726 * 4 = 2904 \text{ кН} * \text{м}$$

$$\eta = \frac{1002}{2904} = 0,34$$

Шпунтовая нераскрепленная стенка не устойчива, так как $\eta = 0,34 \leq 1,3$.
Требуется увеличить глубину забивки или раскрепить стенку.

2.4. Расчет на опрокидывание раскрепленной стенки

$$\eta = \frac{M_{уд}}{M_{опр}} \geq 1,3$$

$$M_{уд} = E_p * (H_c - r_p) = 600 * (12 - 1,67) = 6198 \text{ кН} * \text{м}$$

$$M_{опр} = E_a * (H_c - r_a) = 726 * (13 - 4) = 6534 \text{ кН} * \text{м}$$

$$\eta = \frac{6198}{6534} = 0,95$$

При раскреплении шпунтовая стенка остаётся неустойчивой, следовательно требуется увеличить глубину заделки стенки.

3. Расчет шпунтовой стенки по уточненным характеристикам

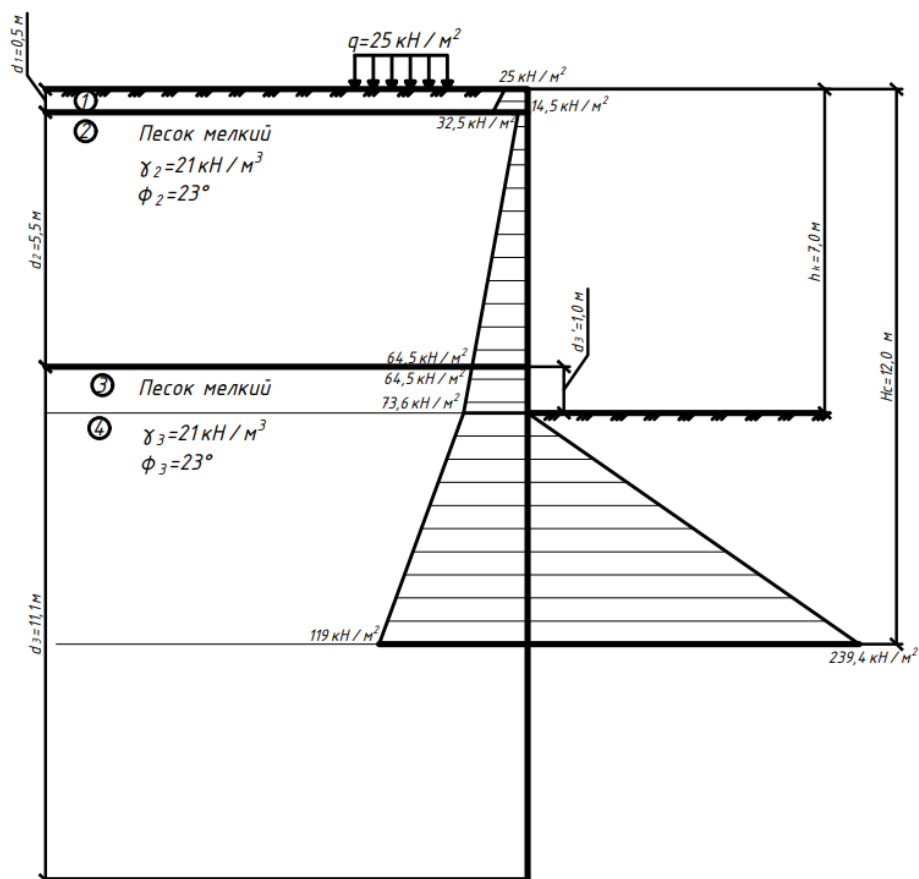


Рисунок 3. Схема к расчету на устойчивость по уточненным характеристикам

Определяем расчетные характеристики

$$\gamma_p = \gamma * \gamma_n; \gamma_n = 1,15;$$

$$c_p = \frac{c}{\gamma_n}; \gamma_n = 1,5;$$

$$\varphi_p = \frac{\varphi}{\gamma_n}; \gamma_n = 1,2;$$

$$\gamma_{2p} = 18,6 * 1,15 = 21 \text{ кН/м}^3$$

$$c_{2p} = 0 \text{ кПа}$$

$$\varphi_{2p} = \frac{28}{1,2} = 23^\circ$$

$$\gamma_{3p} = 18,1 * 1,15 = 21 \text{ кН/м}^3$$

$$c_{3p} = 0 \text{ кПа}$$

$$\varphi_{3p} = \frac{27}{1,2} = 23^\circ$$

$$\gamma_{4p} = 18,5 * 1,15 = 21 \text{ кН/м}^3$$

$$c_{4p} = \frac{11}{1,5} = 7 \text{ кПа}$$

$$\varphi_{4p} = \frac{13}{1,2} = 11^\circ$$

3.1. Определение коэффициентов активного и пассивного давлений

Активное давление:

$$\lambda_a = tg \left(45 - \frac{\varphi_p}{2} \right)$$

$$\lambda_{a2} = tg \left(45 - \frac{23}{2} \right) = 0,66$$

$$\lambda_{a3} = tg \left(45 - \frac{24}{2} \right) = 0,66$$

Пассивное давление:

$$\lambda_p = tg \left(45 + \frac{\varphi_p}{2} \right)$$

$$\lambda_{p2} = tg \left(45 + \frac{23}{2} \right) = 1,51$$

$$\lambda_{p3} = tg(45 + 3) = tg56 = 1,51$$

3.2. Определение активного и пассивного давлений

Активное давление:

$$\sigma_a = (g + \gamma z) \lambda_a^2 - 2 * c * \lambda_a$$

Точка 0: $z = 0$; $c_1 = 0$; $\lambda_{a1} = 0$

$$\sigma_{a0} = (25 + 15 * 0) * 1^2 = 25 \text{ кПа};$$

Точка 1 верх: $z = d_1 = 0,5 \text{ м}$; $c_1 = 0$; $\varphi_{p1} = 0$

$$\sigma_{a1}^B = (g + \gamma_1 d_1) \lambda_{a1}^2$$

$$\sigma_{a1}^B = (25 + 15 * 0,5) * 1 = 32,5 \text{ кПа};$$

Точка 1 низ: $z = d_1 = 0,5 \text{ м}$; $c_2 = 0$; $\varphi_{p2} = 0$

$$\sigma_{a1}^H = (g + \gamma_1 d_1) \lambda_{a2}^2$$

$$\sigma_{a1}^H = (25 + 15 * 0,5) * 0,66^2 = 14,2 \text{ кПа};$$

Точка 2 верх: $z = d_1 + d_2$; $c_2 = 0$; $\varphi_{p2} = 23^\circ$

$$\sigma_{a2}^B = (g + \gamma_1 d_1 + \gamma_2 d_2) \lambda_a^2$$

$$\sigma_{a2}^B = (25 + 15 * 0,5 + 21 * 5,5) * 0,66^2 = 64,5 \text{ кПа};$$

Точка 2 низ: $z = d_1 + d_2$; $c_3 = 0$; $\varphi_{p3} = 23^\circ$

$$\sigma_{a2}^H = (g + \gamma_1 d_1 + \gamma_2 d_2) \lambda_a^2$$

$$\sigma_{a2}^H = (25 + 15 * 0,5 + 21 * 5,5) * 0,66^2 = 64,5 \text{ кПа};$$

Точка 3: $z = d_1 + d_2 + d_3$; $c_3 = 0$; $\varphi_{p3} = 23^\circ$

$$\sigma_{a3} = (g + \gamma_1 d_1 + \gamma_2 d_2 + \gamma_3 d_3) \lambda_a^2$$

$$\sigma_{a3} = (25 + 15 * 0,5 + 21 * 5,5 + 21 * 1) * 0,66^2 = 73,6 \text{ кПа};$$

Точка 4: $z = d_1 + d_2 + d_3 + 5$; $c_4 = 0$; $\varphi_{p3} = 23^\circ$

$$\sigma_{a4} = (g + \gamma_1 d_1 + \gamma_2 d_2 + \gamma_3 d_3 + 5) \lambda_a^2$$

$$\sigma_{a4} = (25 + 15 * 0,5 + 21 * 5,5 + 21 * 6) * 0,66^2 = 119 \text{ кПа};$$

Пассивное давление:

$$\sigma_p = \gamma z * \lambda_p^2 - 2 * c * \lambda_p$$

Точка 3: $z = 0$; $c_3 = 0$; $\varphi_{p3} = 23^\circ$

$$\sigma_{p3}^B = \gamma_3 z * \lambda_p^2$$

$$\sigma_{p3}^B = 21 * 0 * 1,51^2 = 0 \text{ кПа};$$

Точка 4: $z = d_4$; $c_4 = 0$; $\varphi_{p3} = 23^\circ$

$$\sigma_{p4}^B = \gamma_4 d_4 * \lambda_p^2$$

$$\sigma_{p4}^B = 21 * 5 * 1,51^2 = 239,4 \text{ кПа};$$

Равнодействующая активного и пассивного давлений

Активное давление:

$$E_{ai} = \frac{\sigma_{ai}^B + \sigma_{ai+1}^H}{2} * h_i$$

Участок 0-1:

$$E_{a0-1} = \frac{25+32,5}{2} * 0,5 = 14,4 \text{ кН}$$

$$r_{a0-1} = H - \frac{d_1}{2} = 12 - \frac{0,5}{2} = 11,75 \text{ м}$$

Участок 1-2:

$$E_{a1-2} = \frac{14,5+64,5}{2} * 5,5 = 217,25 \text{ кН}$$

$$r_{a1-2} = H - (d_1 + \frac{d_2}{2}) = 12 - (0,5 + \frac{5,5}{2}) = 8,75 \text{ м}$$

Участок 2-3:

$$E_{a2-3} = \frac{64,5+73,6}{2} * 1 = 69,1 \text{ кН}$$

$$r_{a2-3} = H - (d_1 + d_2 + \frac{d_3}{2}) = 12 - (0,5 + 5,5 + \frac{1}{2}) = 5,5 \text{ м}$$

Участок 3-4:

$$E_{a3-4} = \frac{73,6+119}{2} * 5 = 481,5 \text{ кН}$$

$$r_{a3-4} = H - (d_1 + d_2 + d_3 + \frac{d_4}{2}) = 12 - (0,5 + 5,5 + 1 + \frac{5}{2}) = 2,5 \text{ м}$$

Пассивное давление:

$$E_{pi} = \frac{\sigma_{pi}^B + \sigma_{pi+1}^H}{2} * h_i$$

Участок 3-4:

$$E_{p3-4} = \frac{0+239,4}{2} * 5 = 598,5 \text{ кН}$$

$$r_{p3-4} = \frac{1}{3} h_i = \frac{1}{3} 5 = 1,67 \text{ м}$$

3.3. Расчет на опрокидывание нераскрепленной стенки

Найдем отношение удерживающего момента к опрокидывающему.

$$\eta = \frac{M_{уд}}{M_{опр}} \geq 1,3$$

$$M_{уд} = E_{p3-4} * r_p = 598,5 * 1,67 = 1000 \text{ кН * м}$$

$$\begin{aligned} M_{опр} &= E_{a0-1} * r_{a0-1} + E_{a1-2} * r_{a1-2} + E_{a2-3} * r_{a2-3} + E_{a3-4} * r_{a3-4} \\ &= 14,4 * 11,75 + 217,25 * 8,75 + 69,1 * 5,5 + 481,5 * 2,5 \\ &= 3654 \text{ кН * м} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{1000}{3654} = 0,3 \ll 1,3$$

Вывод: шпунтовая стенка крайне неустойчива на опрокидывание.
Требуется устройство глубокой заделки либо раскрепление.

3.4. Расчет на опрокидывание раскрепленной стенки

$$\eta = \frac{M_{уд}}{M_{опр}} \geq 1,3$$

$$M_{уд} = E_{p3-4} * (Hc - r_p) = 598,5 * (12 - 1,67) = 6182,5 \text{ кН} * \text{м}$$

$$M_{опр} = E_{a0-1} * (Hc - r_{a0-1}) + E_{a1-2} * (Hc - r_{a1-2}) + E_{a2-3} * (Hc - r_{a2-3}) + E_{a3-4} * (Hc - r_{a3-4}) = 3,6 + 706,1 + 449,2 + 4574,2 = 5733,1 \text{ кН} * \text{м}$$

$$\eta = \frac{6182,5}{5733,1} = 1,1 < 1,3$$

Вывод: раскрепление не даёт достаточную устойчивость шпунтовой стенке, следовательно требуется устройство более глубокой заделки.

4. Графоаналитический метод расчета шпунтовой стенки

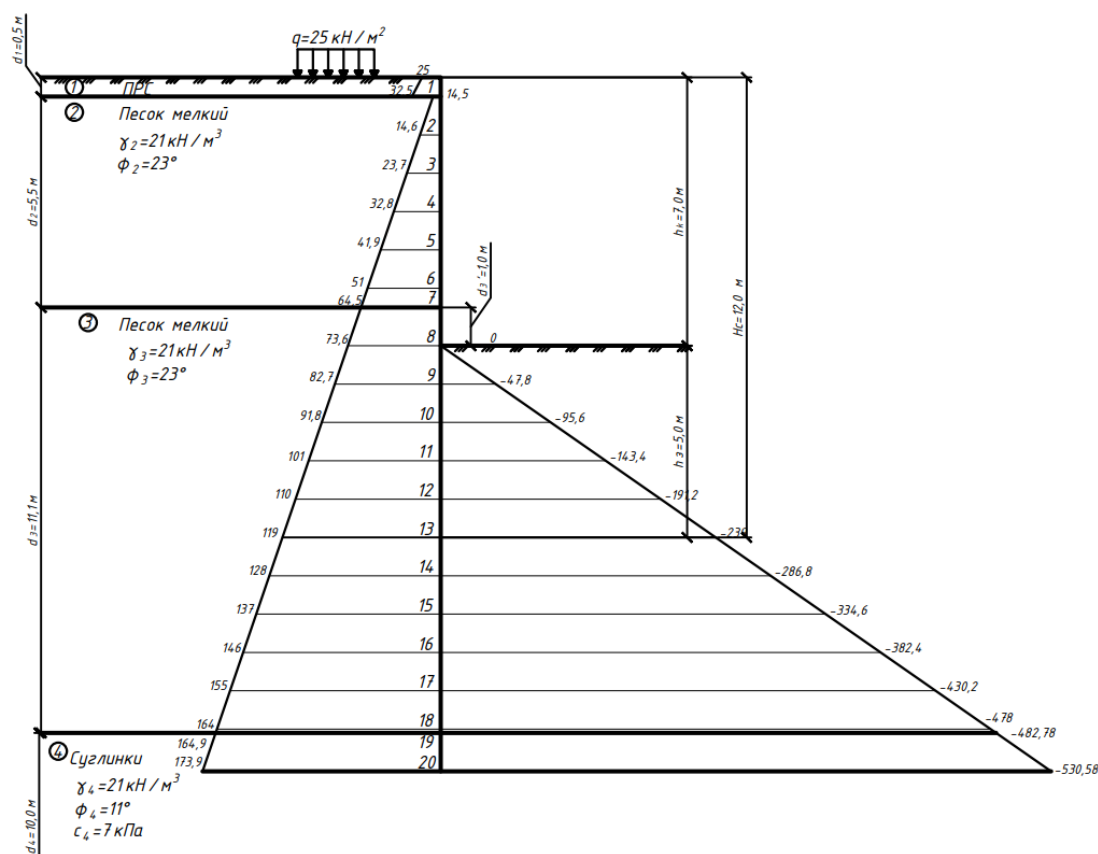


Рисунок 4. Схема к расчету графическим способом

Таблица 2.

№ слоя	h_i , м	σ_a^B , кПа	σ_a^H , кПа	σ_p^B , кПа	σ_p^H , кПа	$\sum \sigma_a$, кПа	$\sum \sigma_p$, кПа	P_i , кН
1	0,5	25	32,5	0	0	57,5	0	28,8
2	1	14,5	14,6	0	0	29,1	0	14,6
3	1	14,6	23,7	0	0	38,3	0	19,2
4	1	23,7	32,8	0	0	56,5	0	28,2
5	1	32,8	41,9	0	0	74,7	0	37,4
6	1	41,9	51	0	0	92,9	0	46,5
7	0,5	51	64,5	0	0	115,5	0	57,8
8	1	64,5	73,6	0	0	138,1	0	69
9	1	73,6	82,7	0	-47	156,3	-47,8	54,2
10	1	82,7	91,8	-47,8	-95,6	174,5	-143,4	15,6
11	1	91,8	101	-95,6	-143,4	192,8	-239	-23,1
12	1	101	110	-143,4	-191,2	211	-334,6	-61,8
13	1	110	119	-191,2	-239	229	-430,2	-100,6
14	1	119	128	-239	-286,8	247	-525,8	-139,4
15	1	128	137	-286,8	-334,6	265	-621,4	-178,2
16	1	137	146	-334,6	-382,4	283	-717	-217
17	1	146	155	-382,4	-430,2	301	-812,6	-255,8
18	1	155	164	-430,2	-478	319	-908,2	-294,6

19	0,1	164	164,9	-478	-482,78	328,9	-960,78	-315,94
20	1	164,9	173,9	-482,78	-530,58	338,8	-1013,36	-337,28

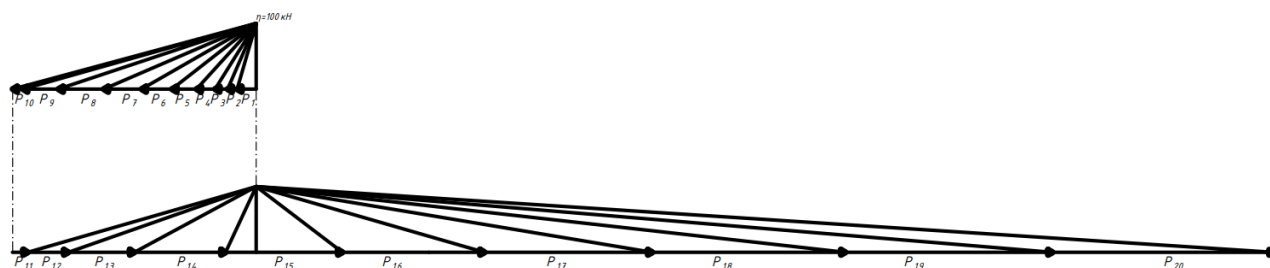


Рисунок 5. Построение силового многоугольника

Определение глубины заделки и моментов в консольном ограждении

Определяем глубину погружения шпунта (рис.6):

$$t_0 = 5,35 \text{ м};$$

$$t = 1,1 * 5,35 = 5,89 \text{ м};$$

Максимальный изгибающий момент в консольной стенке:

$$M_{max} = \eta * Y_{max} = 100 * 249,2 = 24920 \text{ кН} * \text{м}$$

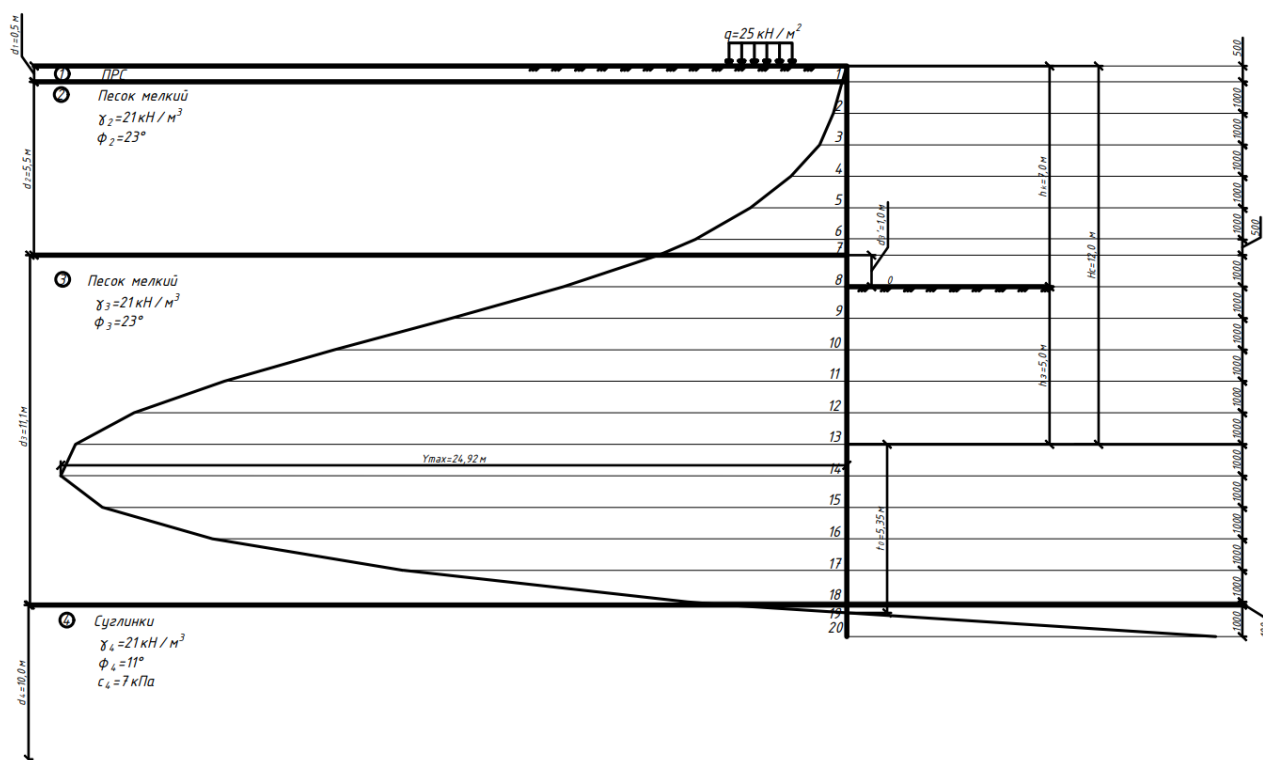


Рисунок 6. Схема замены распределенной нагрузки системой сосредоточенных сил

Список использованной литературы

1. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений.
2. СП 24.13330.2016 Свайные фундаменты.
3. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия.
4. СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов.
5. СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.
6. Справочник проектировщика «Основания, фундаменты и подземные сооружения»
7. Кузнецов А.Н., Муратова Н.В. Примеры расчёта и проектирования фундаментов. Учебное пособие. Пенза: ПГАСА, 1999 г.