

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА “GeoModule, ver. 1.0”, 2012 г.

Автор программного продукта и руководства А.И. Русаков
rusakov@rostel.ru, www.rusakov.donpac.ru

ЧАСТЬ II. ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТОВ

1. Содержание типового отчета по расчету основания.
2. Определение несущей способности сваи по данным статического зондирования.
3. Определение несущей способности забивной сваи в неспецифическом грунте расчетом по разновидностям грунтов.
4. Определение допускаемой нагрузки на забивную сваю для просадочного грунта II типа.
5. Определение несущей способности буровой сваи в неспецифическом грунте расчетом по разновидностям грунтов.

1. Содержание типового отчета по расчету основания

Примеры этой части справки излагаются как подраздел отчета по расчету основания здания, для которого построена конечно-элементная модель. Содержание типового отчета предполагается следующим:

1. Характеристика грунтовых условий площадки строительства
2. Принципы моделирования
3. Расчет свайного поля
 - 3.1. Вводные замечания
 - 3.2. Определение несущей способности сваи
 - 3.3. Нагрузка на основание и характеристики условного фундамента.
 - 3.4. Расчет осадки фундамента и жесткости сваи
 - 3.5. Нагрузки на сваи по результатам моделирования
4. Крен здания.
- Литература
- Приложение

В тексте отчета допускается отступление от стандарта написания дробных чисел: при вставке в текст компьютерных вычислений сохранялась десятичная точка вместо запятой, отделяющей дробную часть.

2. Определение несущей способности свай по данным статического зондирования

Излагаемый далее подразд. 3.2 отчета выполнен по данным демонстрационной площадки. Файл этого расчета помещен в подпапку HELP рабочей папки программы под именем “КД_демо1.geo”. Чтобы запустить этот расчет, необходимо прежде скопировать папку DATA, прилагаемую к пакету, из каталога программы в корень диска D.

ОБРАЗЕЦ

3.2. Определение несущей способности свай

3.2.1. Расчет частных значений предельного сопротивления

Расчет выполняется по СНиП 2.02.03-85, п. 5.11. Частные значения предельного сопротивления получены по 6 точкам зондирования (ТЗ). Исходные данные на расчет:

характеристики свай и способ погружения: забивная призматическая; длина $h_{св} = 6,55$ м; диаметр $d = 0,35$ м; погружение забивкой в лидерные скважины диаметром 0,3 м;

отметки верха и низа свай в табл. 3.1;

структура грунта по ТЗ для расчета сопротивления на боковой поверхности свай представлена на рис. 3.2—3.7¹;

результаты статического зондирования взяты из отчета об инженерно-геологических изысканиях.

Таблица 3.1

Отметки верха и низа свайного поля в точках зондирования

Точка зондирования №	Отметка планировки котлована		Отметка нижнего конца свай		Примечания
	абсолютная	относительная	абсолютная	относительная	
4	4.55	1.43	-2.0	7.98	Секция 1В
5	4.55	2.32	-2.0	8.87	
6	4.55	2.06	-2.0	8.61	
7	4.55	5.09	-2.0	11.64	
8	4.55	5.20	-2.0	11.75	
11	4.55	3.60	-2.0	10.15	

Далее приводится расчет только по точке зондирования 6. По остальным точкам схема расчета та же.

¹ В типовом отчете предполагается, что рис. 3.1 относится к подразд. 3.1 и содержит изображение конечно-элементной модели фундаментной плиты с расстановкой элементов, моделирующих свай.

В точке зондирования б средние сопротивления на боковой поверхности зонда по слоям сведены в табл. 3.2, среднее сопротивление под наконечником зонда² $q_s = 977,5 \text{ т/м}^2$.

Таблица 3.2

№ слоя	Вид грунта	Толщина слоя h_i , м	f_{si} , т/м ²	β_i
1	Глинист.	2.94	5.61	0.63
2	Песчан.	0.60	4.52	0.59
3	Песчан.	0.80	11.52	0.41
4	Глинист.	0.80	7.52	0.49
5	Песчан.	1.30	12.03	0.40
6	Песчан.	0.11	12.60	0.40

Расчетные формулы:

$$F_u = R_s A + \gamma_{cf} f h u ;$$

$$R_s = \beta_1 q_s ;$$

$$f h = \sum \beta_i f_{si} h_i . \quad (3.1)$$

Здесь коэффициент $\gamma_{cf} = 0,6$ принят по табл. 3, п. 26, СНиП 2.02.03-85 для случая лидерных скважин с диаметром, равным $d_{\text{лидер}} = d - 0,05 \text{ м}$.

Геометрические характеристики в данной задаче: $A = d^2 = 0,1225 \text{ м}^2$; $u = 4d = 1,4 \text{ м}$.

Определяем среднее значение предельного сопротивления грунта на боковой поверхности сваи, для чего вначале определяем коэффициенты β_i по табл. 15 СНиП. Коэффициенты сведены в табл. 3.2. По формуле (3.1) с помощью табл. 3.2 получаем $f h = 3,89 \text{ т/м}^2 \cdot 6,55 \text{ м} = 25,5 \text{ т/м}$.

Составляющая предельного сопротивления сваи вследствие сопротивления грунта на боковой поверхности: $\gamma_{cf} f h u = 21,4 \text{ т}$.

Вычисляем предельное сопротивление грунта под нижним концом сваи, для чего вначале определим коэффициент перехода:

$$\beta_1 = 0,55 \cdot \frac{10,0 - 9,78}{2,5} + 0,45 \cdot \frac{9,78 - 7,5}{2,5} = 0,459 \Rightarrow$$

$$R_s = \beta_1 q_s = 449 \text{ т/м}^2 .$$

Составляющая предельного сопротивления сваи вследствие сопротивления грунта под нижним концом сваи: $R_s A = 449 \cdot 0,1225 = 55,0 \text{ т}$.

Частное значение предельного сопротивления сваи:

$$F_u = 21,4 + 55,0 = 76,4 \text{ т} .$$

² Среднее сопротивление вычисляется усреднением на участке протяженностью $5d$ от нижнего конца сваи.

Частные значения предельного сопротивления по точкам зондирования сведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Характеристики предельного сопротивления				
№ ТЗ	Составляющие предельного сопротив.		F_u , т	Примечания
	f_{hu} , т	$R_{сА}$, т		
4	17.7	56.7	74.4	Насыпной грунт учитывается.
5	23.6	52.7	76.4	
6	21.4	55.0	76.4	
7	26.9	64.2	91.1	
8	23.0	59.2	82.2	
11	23.0	53.5	76.6	

3.2.2. Определение несущей способности свай и допускаемой нагрузки на сваю

Расчет выполняется по СНиП 2.02.03-85, п. 5.8, 3.10 и ГОСТ 20522-96.

Исходные данные на расчет представлены выборкой частных значений предельного сопротивления из табл. 3.3.

Расчетная формула:

$$F_d = \frac{\gamma_c \sum_{i=1}^n F_u}{n \gamma_g} \quad (3.2)$$

Коэффициент надежности по грунту γ_g вычисляем согласно пп. 5.2—5.5 ГОСТ 20522-96 в следующем порядке. Полагаем $X_i = F_u$ и вычисляем выборочные параметры:

$$X_n = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = 79,5 \text{ т}; \quad S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_n - X_i)^2} = 6,27 \text{ т}.$$

Статистический критерий проверки однородности выборки $v = 2,07$. Условие

$$|X_n - X_i| < vS$$

выполняется для всех элементов выборки, в частности, для ТЗ 7 левая часть этого неравенства наибольшая, и условие выглядит так: $11.6 < 13.0$.

⇒ Аномальных наблюдений нет.

Вычисляем коэффициент вариации и характеристику ρ_α для расчета нижней доверительной границы при $\alpha = 0,95$:

$$V = \frac{S}{X_n} = 0,0789; \quad \text{квантиль распределения Стьюдента } t_\alpha = 2,01 \Rightarrow$$

$$\rho_{\alpha} = \frac{t_{\alpha} V}{\sqrt{n}} = 0,0647.$$

Вычисляем коэффициент надежности по грунту:

$$\gamma_g = \frac{1}{1 - \rho_{\alpha}} = 1,069.$$

Делаем подстановки $\gamma_c = 1$ и $\gamma_g = 1,069$ в формулу для несущей способности сваи:

$$F_d = \frac{79,50 \text{ т}}{1,069} = 74,4 \text{ т.}$$

Допускаемая нагрузка на сваю составляет

$$N_{\text{доп}} = \frac{F_d}{\gamma_k} = \frac{74,4 \text{ т}}{1,25} = 59,5 \text{ т.}$$

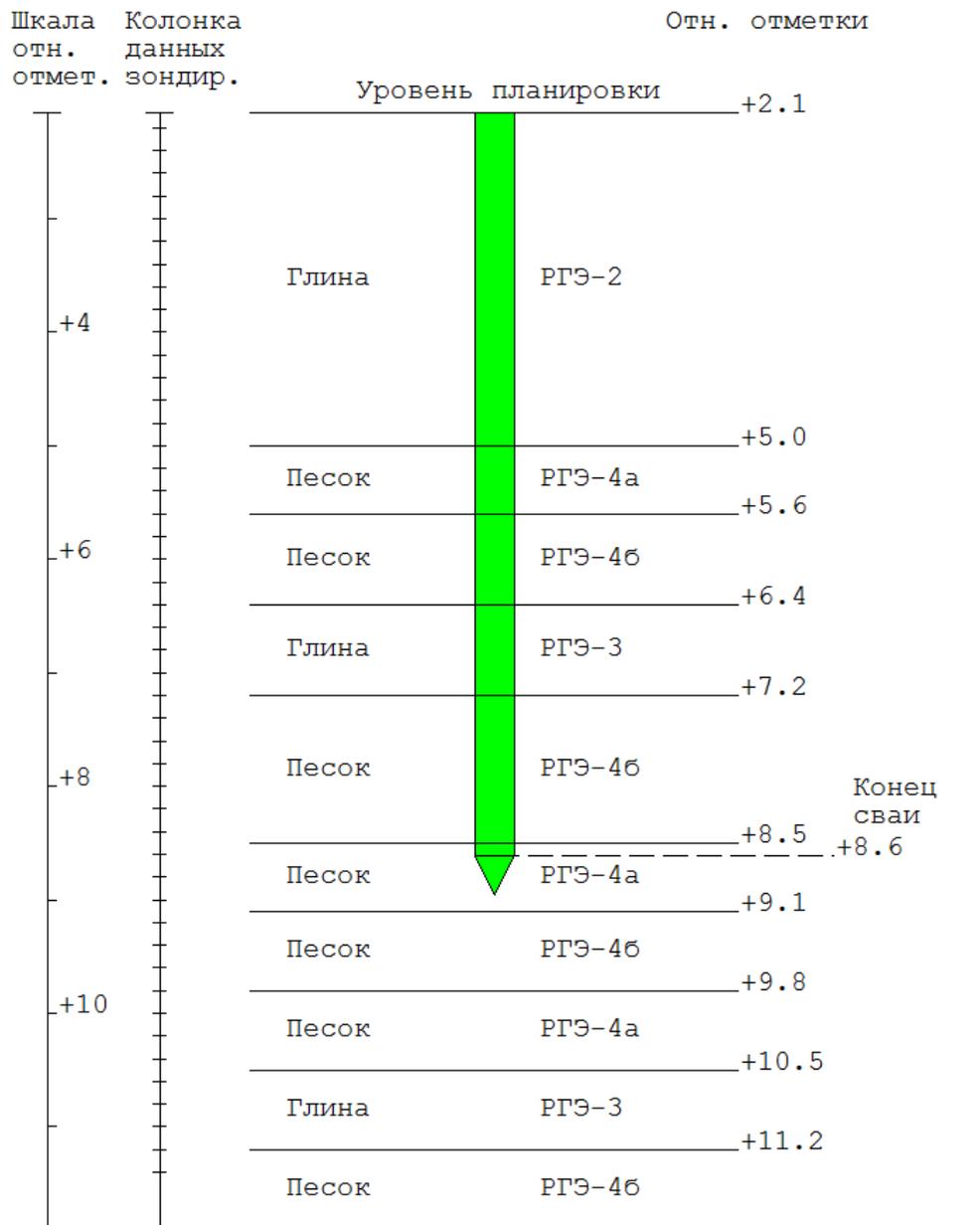


Рис. 3.4. Геологический разрез для ТЗ 6

Наимен. ТЗ	Боковое пред.сопр.	Лобовое пред.сопр.	Суммар. пред.сопр.
4	17.66	56.69	74.35
5	23.64	52.74	76.38
6	21.42	54.96	76.38
7	26.89	64.22	91.11
8	23.02	59.19	82.22
11	23.03	53.54	76.57

РАСЧЕТ ДОПУСКАЕМОЙ НАГРУЗКИ НА СВАЮ СТАТ.ОБРАБОТКОЙ ВЫБОРКИ

В выборку включены следующие точки СЗ (скважины):
4, 5, 6, 7, 8, 11.

Выборочное среднее [т]: $X_n = 79.50$;
выборочное СКО [т]: $S = 6.27$.

Критерий проверки однородности выборки: $\nu = 2.07$.
Условие однородности: $11.61 < 12.98$?

Характеристики к расчету коэффициента надежности:
коэффициент вариации $V = 0.0789$;
квантиль распределения Стьюдента $t_{\alpha} = 2.01$;
характеристика $ro_{\alpha} = 0.0647$.

Коэффициент надежности $\gamma_{\alpha} = 1.069$.

Допускаемая нагрузка на сваю без учета
собственного веса сваи [т]: $N = 59.48$.

3. Определение несущей способности забивной сваи в неспецифическом грунте расчетом по разновидностям грунтов

Излагаемый далее подразд. 3.2 отчета выполнен по данным демонстрационной площадки. Для расчета может быть использован файл “КД_демо1.geo”. Порядок запуска расчета описан в предыдущем разделе с особенностями: перед запуском из выбранных для расчета скважин следует удалить скважины 4 и 11, которые в этом расчете не используются, а также назначить индивидуальную обработку данных по скважинам в окне «Настройка режима расчета».

ОБРАЗЕЦ

3.2. Определение несущей способности сваи

Расчет выполняется по СНиП 2.02.03-85, пп. 3.10, 4.2. Величины несущей способности получены по 4 скважинам, расположенным в углах плана фундамента. Исходные данные на расчет:

характеристики сваи и способ погружения: забивная призматическая; длина $h_{св} = 6,55$ м; диаметр $d = 0,35$ м; погружение забивкой в лидерные скважины диаметром 0,3 м;

отметки верха и низа свай в табл. 3.1;

структура грунта по скважинам для расчета сопротивления под нижним концом и на боковой поверхности сваи представлена на рис. 3.2—3.5;

УГВ ниже опорной толщи свай (природная влажность грунта);

характеристики РГЭ взяты из отчета об инженерно-геологических изысканиях.

Таблица 3.1

Отметки верха и низа свайного поля в точках зондирования

Скважина №	Отметка планировки котлована		Отметка нижнего конца сваи		Примечания
	абсолютная	относительная	абсолютная	относительная	
5	4.55	2.32	-2.0	8.87	Секция 1В
6	4.55	2.06	-2.0	8.61	
7	4.55	5.09	-2.0	11.64	
8	4.55	5.20	-2.0	11.75	

Далее приводится расчет только по скважине 6. По остальным скважинам схема расчета та же.

Расчетные формулы для вычисления несущей способности сваи:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i);$$

$$R = \frac{\sum R_i h_i}{h_{\text{опор}}} \quad (3.1)$$

Для коэффициентов условий работы в данной задаче имеем:

$$\gamma_c = 1; \gamma_{cR} = 1; \gamma_{cf} = 0,6.$$

(Коэффициент $\gamma_{cf} = 0,6$ принят по табл. 3, п. 2б, СНиП 2.02.03-85 для случая лидерных скважин с диаметром, равным $d_{\text{лидер}} = d - 0,05$ м.)

Формула (3.1) позволяет вычислить сопротивление грунта под нижним концом сваи в случае, когда опорная толща под нижним концом сваи имеет высоту $h_{\text{опор}}$ и состоит из нескольких слоев толщиной h_i . Суммирование в этой формуле выполняется по всем слоям опорной толщи. R_i — расчетное сопротивление i -го слоя опорной толщи, вычисленное по табл. 1 СНиП 2.02.03-85 в предположении, что нижний конец сваи находится на кровле этого слоя. Высота опорной толщи под нижним концом сваи принята такой же, как требуется в расчетах по данным статического зондирования: $h_{\text{опор}} = 5d = 1,75$ м (п. 5.11 СНиП 2.02.03-85).

Геометрические характеристики в данной задаче: $A = d^2 = 0,1225$ м²; $u = 4d = 1,4$ м.

Определяем силу расчетного сопротивления грунта на боковой поверхности сваи по табл. 2 СНиП 2.02.03-85. Результаты сведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Таблица слоев, создающих боковое сопротивление сваи

№ под-слоя	Глубина, м	Наимен. РГЭ	Вид грунта	Разновидность	Степень плотн.	I_L	e	Толщина слоя h_i , м	f_i , т/м ²
1	2.80	РГЭ-2	Глин.	Глина	–	0.28	1.399	1.47	3.65
2	4.26	РГЭ-2	Глин.	Глина	–	0.28	1.399	1.47	4.16
3	5.30	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	–	0.710	0.60	4.06
4	6.00	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	–	0.590	0.80	5.46
5	6.80	РГЭ-3	Глин.	Глина	–	0.35	0.986	0.80	3.73
6	7.85	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	–	0.590	1.30	5.70
7	8.56	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	–	0.710	0.11	4.46

Примечания:

1. Слои грунта разделены на подслои толщиной до 2 м.
2. Глубина в графе 2 — это условная глубина до середины подслоя, определяемая согласно примечанию 2 к табл. 1 СНиП 2.02.03-85.
3. Пл.(СЗ) — песок плотный, с определением плотности по данным СЗ. Ср.пл. — песок средней плотности.

Расчетные сопротивления f_i для глинистых слоев вычислялись двойной интерполяцией данных табл. 2 СНиП 2.02.03-85. Например, для подслоя 5 имеем показатель текучести $I_L = 0,35$ и среднюю условную глубину расположения подслоя $z' = 6,8$ м. Интерполируем сопротивление грунта по I_L для табличных глубин 6 м и 8 м:

$$f_{5,6\text{ м}} = 4,2 \cdot \frac{0,4 - 0,35}{0,1} + 3,1 \cdot \frac{0,35 - 0,3}{0,1} = 3,65 \text{ т/м}^2;$$

$$f_{5,8\text{ м}} = 4,4 \cdot \frac{0,4 - 0,35}{0,1} + 3,3 \cdot \frac{0,35 - 0,3}{0,1} = 3,85 \text{ т/м}^2.$$

Повторно интерполируем боковое сопротивление грунта по глубине:

$$f_5 = 3,65 \cdot \frac{8 - 6,8}{2} + 3,85 \cdot \frac{6,8 - 6}{2} = 3,73 \text{ т/м}^2.$$

При коэффициенте пористости $e = 0,986$ корректировка полученной величины согласно примечанию 4 к табл. 2 СНиП 2.02.03-85 не требуется.

Расчетные сопротивления f_i для песчаных слоев вычислялись интерполяцией данных табл. 2 по глубине. Например, для подслоя 6 имеем:

$$f'_6 = 4,2 \cdot \frac{8 - 7,85}{2} + 4,4 \cdot \frac{7,85 - 6}{2} = 4,385 \text{ т/м}^2.$$

Корректировка полученной величины согласно примечанию 3 к табл. 2 СНиП 2.02.03-85 дает для плотного песка: $f_6 = 1,3 \cdot f'_6 = 5,7 \text{ т/м}^2$.

Составляющая силы расчетного сопротивления грунта на боковой поверхности:

$$F_{\text{бок}} = \gamma_c u \sum \gamma_{cf} f_i h_i = 24,5 \text{ т.}$$

Вычисляем силу расчетного сопротивления грунта под нижним концом сваи по табл. 1 СНиП. Результаты сведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Таблица слоев, создающих лобовое сопротивление сваи

№ слоя	Глубина, м	Наимен. РГЭ	Вид грунта	Разновидность	Степень плотн.	I_l	Толщина слоя h_i , м	R_i , т/м ²
1	8.61	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	–	0.49	250.7
2	9.10	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	–	0.70	406.4
3	9.80	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	–	0.56	258.7

Примечание. Глубина в графе 2 — это условная глубина до кровли слоя опорной толщи, определяемая согласно примечанию 2 к табл. 1 СНиП 2.02.03-85.

Расчетные сопротивления R_i для песчаных грунтов устанавливаются интерполяцией по глубине. Например, для слоя 2 имеем:

$$R'_2 = 240 \cdot \frac{10 - 9,1}{3} + 260 \cdot \frac{9,1 - 7}{3} = 254 \text{ т/м}^2.$$

Корректировка полученной величины согласно примечанию 4 к табл. 1 СНиП 2.02.03-85 дает для плотного песка при наличии лидерных скважин: $R_2 = 1,6R'_2 = 406 \text{ т/м}^2$.

Взвешенное усреднение по формуле (3.1) дает $R = 316 \text{ т/м}^2$.

Составляющая силы расчетного сопротивления грунта под нижним концом сваи:

$$F_{\text{лоб}} = \gamma_c \gamma_{cR} RA = 38,7 \text{ т.}$$

Получаем несущую способность сваи по скважине 6: $F_d = 24,5 + 38,7 = 63,2 \text{ т.}$

Характеристики несущей способности по скважинам сведены в табл. 3.4. Допускаемая нагрузка в последней заполненной графе вычисляется согласно п. 3.10 СНиП 2.02.03-85: $N = F_d/1,4$.

Для секции 1В принимаем допускаемую нагрузку на сваю как наименьшее из полученных значений $N = 44,1 \text{ т.}$

Таблица 3.4

Характеристики несущей способности

№ скважины	Составляющие несущей способности		Нес. способность F_d , т	Допуск. нагрузка N , т	Примечания
	$F_{\text{бок}}$, т	$F_{\text{лоб}}$, т			
5	24.2	37.7	61.9	44.2	Насыпной грунт срезан
6	24.5	38.7	63.2	45.1	
7	26.1	46.4	72.5	51.8	
8	24.5	37.3	61.8	44.1	

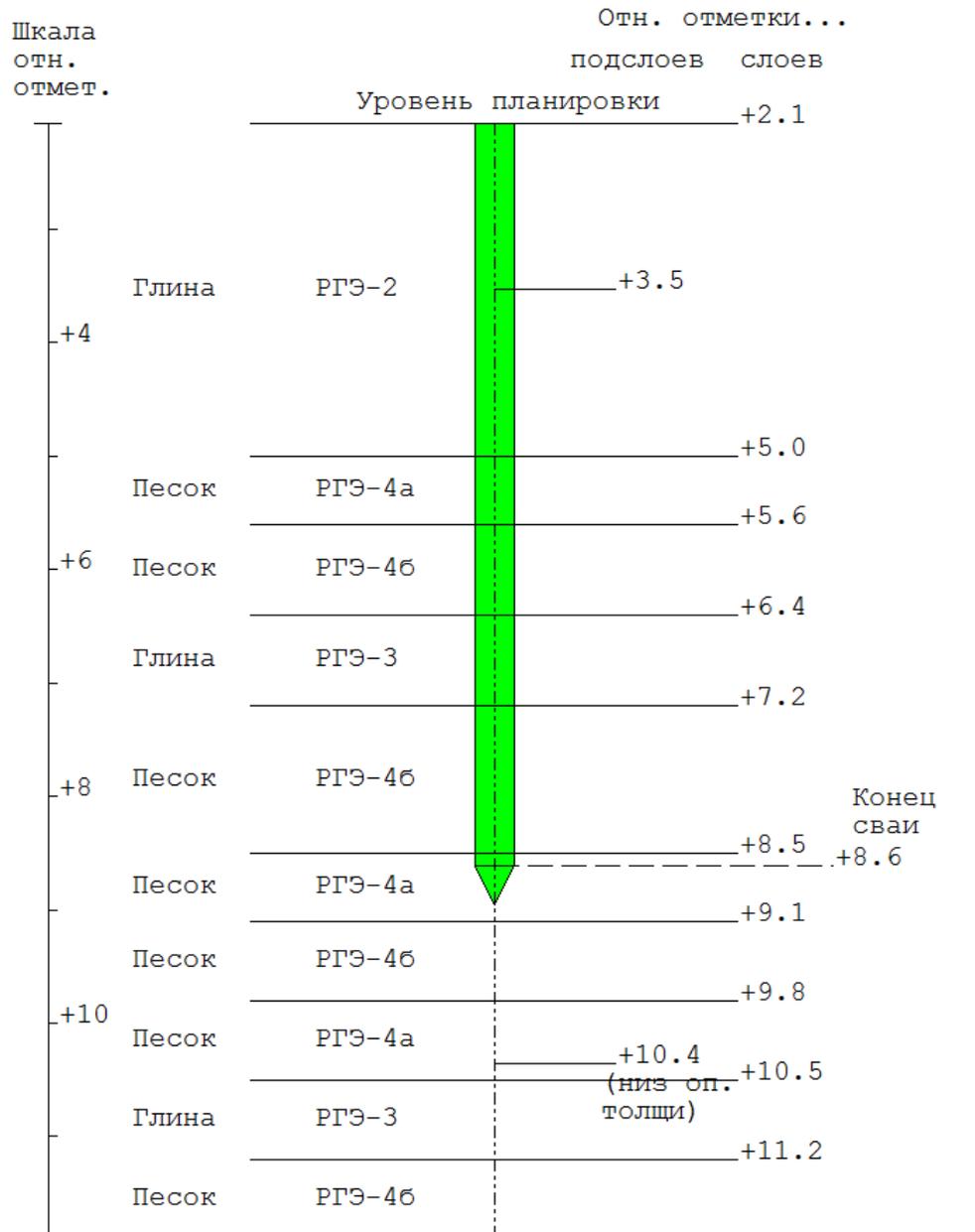


Рис. 3.3. Геологический разрез для скважины 6

— Рис. 3.2, 3.4, 3.5 содержат одностипные разрезы по другим скважинам и в образец отчета не включены. Данный образец получен форматированием текстового файла подробного отчета. Часть этого файла, содержащая полный расчет по скважине б, приводится ниже (удаленная часть содержит аналогичные расчеты по остальным скважинам).

Заполнение таблиц образца отчета возможно копированием в буфер фрагмента таблицы в текстовом формате и вставкой его в выделенную зону таблицы Word. При этом знаки табуляции, разделяющие строки текстовой таблицы, служат указателями границ между ячейками таблицы Word.

В данном примере нет глинистых опорных слоев. Расчетные сопротивления R_i под нижним концом сваи для глинистых опорных слоев вычисляются двойной интерполяцией данных табл. 1 по той же схеме, что используется для бокового сопротивления и дается выше в примере.

.

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ ПО СКВАЖИНЕ '6'

Исходные данные по свайному полю:

абс. отм. дна котлована +4.55;
 вид сваи - забивная;
 длина сваи [м] = 6.55;
 диаметр сваи [м] = 0.35;
 поперечное сечение сваи квадратное;
 коэф-т усл. работы под ниж. концом сваи $\gamma_{cR} = 1.00$;
 коэф-т усл. работы на бок. п-ти сваи $\gamma_{cf} = 0.60$;
 высота опорной толщи [м] = 1.75;
 учет насыпного грунта - да;
 погружение свай с подмывом или в лидерные скв. - да;
 просадочность на площадке - нет;
 учитывать взвешивающее действие грунтовых вод - нет;
 обозначение или номер скважины: 6.

Использованы данные файлов: "LS_6.txt", "TSoilMod.txt", "TPhMProp.txt";

для проверки ввода созданы файлы: "~LS_6.txt".

Результаты расчета несущей способности сваи:

Таблица слоев в опорной толще под свай

Глубина [м]	Наимен. РГЭ	Вид грунта	Разно- видн.	Степ. плотн.	Il	h_i [м]	R_i [т/м ²]
8.61	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	-	0.49	250.73
9.10	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	0.70	406.40
9.80	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	-	0.56	258.67

Расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи:
 R [т/м²] = (Сумма $R_i \cdot h_i$) / (Сумма h_i) = 315.54.

Таблица слоев, создающих боковое сопротивление сваи

Глубина [м]	Наимен. РГЭ	Вид грунта	Разно- видн.	Степ. плотн.	Il	e	h_i [м]	f_i [т/м ²]
-------------	-------------	------------	--------------	--------------	----	---	-----------	---------------------------

4. Определение допускаемой нагрузки на забивную сваю для просадочного грунта II типа.

Излагаемый далее подразд. 3.2 отчета выполнен по данным демонстрационной площадки. Файл этого расчета помещен в подпапку HELP рабочей папки программы под именем “КД_демо2.geo”. Чтобы запустить этот расчет, необходимо прежде скопировать папку DATA, прилагаемую к пакету, из каталога программы в корень диска D.

ОБРАЗЕЦ

3.2. Определение допускаемой нагрузки на сваю

Расчет выполняется по СНиП 2.02.03-85, пп. 8.10—8.12. Величины допускаемой нагрузки получены по 4 скважинам, расположенным в углах плана фундамента. Исходные данные на расчет:

характеристики сваи и способ погружения: забивная призматическая; длина $h_{св} = 12$ м; диаметр $d = 0,35$ м; погружение забивкой в лидерные скважины диаметром 0,35 м;

отметки верха и низа свай в табл. 3.1;

предельная осадка $s_u = 12$ см; расстояние от уровня планировки территории благоустройства до планировки котлована $h_{pit} = 1,3$ м;

структура грунта по скважинам для расчета сопротивления под нижним концом и на боковой поверхности сваи представлена на рис. 3.2—3.5;

грунт II типа по просадочности, полное замачивание снизу;

характеристики РГЭ взяты из отчета об инженерно-геологических изысканиях.

Таблица 3.1

Отметки верха и низа свайного поля в точках зондирования

Скважина №	Отметка планировки котлована		Отметка нижнего конца сваи		Примечания
	абсолютная	относительная	абсолютная	относительная	
3	4.55	1.41	-7.45	13.41	Секция 1Б
4	4.55	1.43	-7.45	13.43	
5	4.55	2.32	-7.45	14.32	
6	4.55	2.06	-7.45	14.06	

Далее приводится расчет только по скважине 6. По остальным скважинам схема расчета та же.

Этап 1. Расчет вертикального давления по слоям грунта.

Расчетная формула:

$$\sigma_{zg}(z_i) = \sigma_{zg}(z_{i-1}) + \gamma_i h_i; \quad h_i = z_i - z_{i-1}; \quad \sigma_{zg}(z_0) = 0; \quad (3.1)$$

Здесь γ_i — удельный вес грунта в i -м слое при естественной влажности; z_i — глубина подошвы i -го слоя грунта с отсчетом от дна котлована; $z_0 = -h_{pit}$ — отрицательная величина, задающая уровень планировки по ГП. Формула (3.1) есть рекуррентное представление формулы (6) приложения 2 СНиП 2.02.01-83 с заменой d_n на d (глубина заложения фундамента берется от уровня планировки по ГП). Поскольку замачивание предполагается вследствие подъема грунтовых вод, удельный вес грунта берется при природной влажности согласно примечанию 1 к п. 8.10 СНиП 2.02.03-85. Результаты расчетов сведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Таблица вертикального давления грунта в подошве слоя

№ слоя i	Отн. отм., м	Глубина по ГП $z_i + h_{pit}$, м	Наимен. РГЭ	Уд. вес γ_i , т/м ³	Верт. напр. σ_{zg} , т/м ²
1	2.00	1.24	Н	1.64	2.03
2	5.00	4.24	РГЭ-2	1.65	6.98
3	5.60	4.84	РГЭ-4а	1.97	8.17
4	6.40	5.64	РГЭ-4б	2.04	9.80
5	7.20	6.44	РГЭ-3	1.81	11.25
6	8.50	7.74	РГЭ-4б	2.04	13.90
7	9.10	8.34	РГЭ-4а	1.97	15.08
8	9.80	9.04	РГЭ-4б	2.04	16.51
9	10.50	9.74	РГЭ-4а	1.97	17.89
10	11.20	10.44	РГЭ-3	1.81	19.15
11	12.90	12.14	РГЭ-4б	2.04	22.62
12	13.40	12.64	РГЭ-3	1.81	23.53
13	14.06	13.30	РГЭ-4б	2.04	24.87

Для 1 и 2 слоев формула (3.1) дает:

$$\sigma_{zg}(z_1) = 1.64 \cdot 1.24 = 2.03 \text{ т/м}^2;$$

$$\sigma_{zg}(z_2) = 2.03 + 1.65 \cdot (4.24 - 1.24) = 6.98 \text{ т/м}^2.$$

Для остальных слоев аналогично.

Этап 2. Расчет просадок. Определение глубины с просадкой 5 см.

Расчетная формула:

$$s_{sl}(z'_i) = s_{sl}(z'_{i+1}) + k_{sl} \varepsilon_{sl}(z''_i, \sigma_{zg})(z'_{i+1} - z'_i), \quad i = \overline{k, n}; \quad s_{sl}(z'_{n+1}) = 0. \quad (3.2)$$

Здесь z'_i — глубина кровли i -го просадочного слоя под дном котлована; k — начальный номер слоя; k_{sl} — коэффициент, вычисляемый согласно последнему абзацу п. 14* приложения 2 СНиП 2.02.01-83 ($k_{sl} = 1 \div 1,25$); z''_i — глубина отбора пробы грунта для i -й строки таблицы относительной просадочности; n — число строк таблицы относительной просадочности; σ_{zg} — вертикальное давление грунта на глубине z''_i ; $\varepsilon_{sl}(z''_i, \sigma_{zg})$ — табличная функция относительной просадочности.

Табличную функцию относительной просадочности вычисляем линейной интерполяцией данных i -й строки таблицы относительной просадочности:

$$\varepsilon_{sl}(z''_i, \sigma_{zg}) = \frac{p_{j+1} - \sigma_{zg}}{p_{j+1} - p_j} \varepsilon_{sl}(z''_i, p_j) + \frac{\sigma_{zg} - p_j}{p_{j+1} - p_j} \varepsilon_{sl}(z''_i, p_{j+1}), \quad (3.3)$$

где $\varepsilon_{sl}(z''_i, p_j)$ — содержимое ячейки ij названной таблицы; j -я колонка обеспечивает условие $p_j \leq \sigma_{zg} \leq p_{j+1}$;

слои задаем согласно глубинам таблицы относительной просадочности z''_i последовательными вычислениями глубин границ слоев:

$$z'_i = z''_i - h_i / 2; \quad h_i = z''_i - z''_{i-1}, \quad i = \overline{2, n};$$

$$z'_1 = z''_1 - h_2 / 2; \quad z'_{n+1} = z''_n + h_n / 2;$$

$$k = \max \{i : z'_i \leq 0\}; \quad \text{если } z'_1 > 0, \text{ то } k = 0;$$

$$\text{корректировка данных: } z'_k = 0;$$

возможно, потребуется корректировка давления до величины вертикального напряжения от собственного веса грунта на уровне подошвы фундамента:

$$\sigma_{zg}(z''_k) = \sigma_{zg0}, \quad \text{если } z''_k < 0.$$

Глубину с просадкой 5 см устанавливаем линейной интерполяцией:

$$z_{5 \text{ см}} = \frac{5 \text{ см} - s_{sl}(z'_{j+1})}{s_{sl}(z'_j) - s_{sl}(z'_{j+1})} z'_j + \frac{s_{sl}(z'_j) - 5 \text{ см}}{s_{sl}(z'_j) - s_{sl}(z'_{j+1})} z'_{j+1}. \quad (3.4)$$

Согласно приведенным формулам, разбиение на слои определяется глубинами отбора проб для таблицы относительной просадочности. Границы соседних слоев находятся на середине между отметками, определяющими соседние строки таблицы. В случае, когда используется подсыпка, выше природного рельефа просадка считается постоянной и полагается $k = 0$.

Далее наряду с глубинами z'_i и z''_i используются относительные отметки M'_i и M''_i , соответствующие этим глубинам. Относительные отметки отсчитываются от уровня природного рельефа.

Для скважины 6 таблица относительной просадочности согласно приложению к отчету может быть представлена в виде:

Таблица относительной просадочности по скв. 6

<i>i</i>	Отн. отм. M_i'' , м	Глуб. z_i'' , м	Отн. просадочность при нагрузках p_j , т/м ²											
			5	10	15	20	25	30						
1	1.00	-1.06	0.02	0.08	0.12	0.17	0.21	0.25						
2	2.00	-0.06	0.01	0.06	0.11	0.17	0.22	0.26						
3	3.00	0.94	0	0.05	0.1	0.15	0.19	0.23						
4	4.00	1.94	0.01	0.06	0.11	0.15	0.19	0.22						
5	5.00	2.94	0.03	0.07	0.11	0.15	0.18	0.21						
6	6.00	3.94	0.03	0.06	0.08	0.11	0.16	0.2						
7	7.00	4.94	0.02	0.03	0.05	0.09	0.11	0.14						

Результаты расчетов просадки сведены в таблицу:

Таблица просадок по скв. 6

<i>i</i>	Отн. отм. для s_{sl} , M_i' , м	Глубина z_i' , м	Отн. отм. для ϵ_{sl} , M_i'' , м	Верг. напр. σ_{zg} , т/м ²	Отн. прос. ϵ_{sl}	Просадка s_{sl} , см
2	2.06	0.00	2.00	2.13	0.0043	14.85
3	2.50	0.44	3.00	3.68	0.0000	14.66
4	3.50	1.44	4.00	5.33	0.0133	14.66
5	4.50	2.44	5.00	6.98	0.0459	13.33
6	5.50	3.44	6.00	8.98	0.0539	8.74
7	6.50	4.44	7.00	10.88	0.0335	3.35
8	7.50	5.44	-	-	-	0.00

Получена глубина подошвы просадочной толщи

$$H_{sl} = z_8' = z_7'' + h_7 / 2 = 4,94 + 0,5 = 5,44 \text{ м.}$$

Поскольку $H_{sl} < 15$ м, принимаем $k_{sl} = 1$.

Просадка на глубине $z_7' = z_7'' - h_7 / 2 = 4,44$ м (отн. отм. +6.50) получена через относительную просадочность на глубине $z_7'' = 4,94$ м (отн. отм. +7.00). Давление на этой глубине получаем линейной интерполяцией по табл. 3.2 в промежутке отн. отм. 6.40—7.20:

$$\sigma_{zg} = \frac{7.20 - 7.00}{7.20 - 6.40} 9.80 + \frac{7.00 - 6.40}{7.20 - 6.40} 11.25 = 10.88 \text{ т/м}^2.$$

Далее применяем формулу (3.3) с подстановкой данных табл. 3.3:

$$\varepsilon_{sl}(z_7'', \sigma_{zg}) = \frac{15 - 10.88}{15 - 10} 0.03 + \frac{10.88 - 10}{15 - 10} 0.05 = 0.0335$$

и получаем просадку по формуле (3.2):

$$s_{sl}(z_7') = 0 + 1 \cdot 0.0335 \cdot 1 = 0.0335 \text{ м.}$$

Этим заполнена строка с индексом $i = 7$ табл. 3.4. Строки для $i = 6, 5, 4, 3$ заполняются аналогично.

Для строки $i = k = 2$ используется относительная просадочность на глубине $z_2'' = -0,06$ м (см. табл. 3.3). Здесь потребовалась корректировка давления до величины σ_{zg0} . Получим эту величину, пользуясь отн. отм. дна котлована $+2,06$:

$$\sigma_{zg0} = \frac{5.00 - 2.06}{5.00 - 2.00} 2.03 + \frac{2.06 - 2.00}{5.00 - 2.00} 6.98 = 2.13 \text{ т/м}^2.$$

Этому давлению соответствует относительная просадочность:

$$\varepsilon_{sl}(z_2'', \sigma_{zg0}) = \frac{5 - 2.13}{5 - 0} 0 + \frac{2.13 - 0}{5 - 0} 0.01 = 0.0043.$$

Получаем просадку:

$$s_{sl}(z_2') = 0.1466 + 1 \cdot 0.0043 \cdot 0.44 = 0.1485 \text{ м.}$$

Глубину границы негативного трения получим по формуле (3.4) с помощью табл. 3.4:

$$z_{5\text{ см}} = \frac{5 - 3.35}{8.74 - 3.35} 3.44 + \frac{8.74 - 5}{8.74 - 3.35} 4.44 = 4.13 \text{ м,}$$

соответственно $M_{5\text{ см}} = 4.13 + 2.06 = 6.19$ м.

Эпюры σ_{zg} , ε_{sl} , s_{sl} , определяемые таблицами 3.2 и 3.4, показаны на рис. 3.6.

Этап 3. Расчет силы негативного трения и коэффициента условий работы грунта в зоне негативного трения.

Используются расчетные формулы (3.5)—(3.8), см. ниже.

$$c_I = \frac{1}{h_{sl}} \sum c_i h_i; \quad \varphi_I = \frac{1}{h_{sl}} \sum \varphi_i h_i, \quad (3.5)$$

где c_i , φ_i — прочностные характеристики грунта i -го слоя по 1 предельному состоянию; $h_{sl} = z_{5\text{ см}}$ — глубина до границы негативного трения; h_i — толщина i -го слоя; суммирование ведется по всем слоям в диапазоне глубин $0—h_{sl}$; разбиение на слои согласно перечню РГЭ или ИГЭ на площадке;

$$P_n = u \sum \tau_i h_i, \quad (3.6)$$

где суммирование ведется по всем подслоям до глубины h_{sl} ; разбиение на подслои отвечает перечню РГЭ (ИГЭ) при толщине подслоя не более 2 м; h_i — толщина i -го подслоя; u — периметр поперечного сечения сваи;

$$\tau_i = 0,7\sigma_{zg,i} \operatorname{tg}\varphi_I + c_I, \quad (3.7)$$

— расчетное сопротивление, определяемое через вертикальное напряжение на середине подслоя $\sigma_{zg,i}$. При глубине подслоя $z_i > 6$ м напряжение $\sigma_{zg,i}$ берется для глубины 6 м;

$$\gamma_c = \begin{cases} 0,8 \frac{s_{sl} - 5 \text{ см}}{2s_u - 5 \text{ см}}, & \text{если } 5 \text{ см} < s_{sl} < 2s_u; \\ 0,8, & \text{если } s_{sl} \geq 2s_u; \\ 0, & \text{если } s_{sl} \leq 5 \text{ см}. \end{cases} \quad (3.8)$$

Для скважины 6 разбиение на подслои грунтовой толщи иллюстрируется рис. 3.5. Результаты расчета сопротивлений τ_i сведены в таблицу:

Таблица 3.5

Таблица слоев, создающих негативное трение

№ под- слоя	Отн. отм., м	Глубина z_i , м	Наимен. РГЭ	Вид грунта	Верт. напр. σ_{zg} , т/м ²	Толщ. п/слоя h_i , м	τ_i , т/м ²
1	2.80	0.74	РГЭ-2	Глин.	3.35	1.47	3.72
2	4.26	2.20	РГЭ-2	Глин.	5.77	1.47	4.27
3	5.30	3.24	РГЭ-4а	Песч.	7.57	0.60	4.68
4	5.90	3.84	РГЭ-4б	Песч.	8.77	0.59	4.95

Примечание: относительная отметка и глубина даны для середины подслоя.

Имеем для усредненных характеристик грунта:

$$c_I = \frac{1}{4.13} (4.1 \cdot 2.94 + 0.1 \cdot 0.60 + 0.2 \cdot 0.59) = 2.96 \text{ т/м}^2;$$

$$\varphi_I = \frac{1}{4.13} (12.8 \cdot 2.94 + 29.2 \cdot 0.60 + 32.0 \cdot 0.59) = 17.94^\circ.$$

Замечание. Расчет приведенного арифметического выражения для φ_I даст величину 17,925, что отличается от принятого результата. Однако в этих выражениях величины h_{sl} и h_4 получены округлением до 2 десятичного знака. В отчете приводятся результаты возможно более точных арифметических расчетов с последующим округлением.

Рассчитаем сопротивление τ_1 . Вертикальное напряжение получаем интерполяцией данных табл. 3.2:

$$\sigma_{zg}(z_1) = \frac{5.00 - 2.80}{5.00 - 2.00} 2.03 + \frac{2.80 - 2.00}{5.00 - 2.00} 6.98 = 3.35 \text{ т/м}^2.$$

Имеем:

$$\tau_1 = 0,7 \cdot 3,35 \cdot \operatorname{tg} 17,94^\circ + 2,96 = 3,72 \text{ т/м}^2.$$

Остальные сопротивления устанавливаются аналогично. По формуле (3.6) получаем:

$$P_n = 1,4 \cdot (3,72 \cdot 1,47 + 4,27 \cdot 1,47 + 4,68 \cdot 0,60 + 4,95 \cdot 0,59) = 24,5 \text{ т.}$$

Из табл. 3.4 имеем просадку $s_{sl} = 14,85$ см. Формула (3.8) дает коэффициент условий работы просадочной толщи:

$$\gamma_c = 0,8 \frac{14,85 - 5}{24 - 5} = 0,415.$$

Этап 4. Расчет несущей способности сваи и допускаемой нагрузки на сваю.

Расчетные формулы для вычисления несущей способности сваи:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i); \quad (3.9)$$

$$R = \frac{\sum R_i h_i}{h_{\text{опор}}}. \quad (3.10)$$

Для коэффициентов условий работы в данной задаче имеем:

$$\gamma_c = 1; \quad \gamma_{cR} = 1; \quad \gamma_{cf} = 0,5.$$

(Коэффициент $\gamma_{cf} = 0,5$ принят по табл. 3, п. 2б, СНиП 2.02.03-85 для случая лидерных скважин с диаметром, равным $d_{\text{лидер}} = d$.)

В формуле (3.9) суммирование ведется по всем подслоям в диапазоне глубин $h_{sl} - h_{св}$. Боковые расчетные сопротивления f_i вычисляются по табл. 2 СНиП 2.02.03-85.

Формула (3.10) позволяет вычислить сопротивление грунта под нижним концом сваи в случае, когда опорная толща под нижним концом сваи имеет высоту $h_{\text{опор}}$ и состоит из нескольких слоев толщиной h_i . Суммирование в этой формуле выполняется по всем слоям опорной толщи. R_i — расчетное сопротивление i -го слоя опорной толщи, вычисленное по табл. 1 СНиП 2.02.03-85 в предположении, что нижний конец сваи находится на кровле этого слоя. Высота опорной толщи под нижним концом сваи принята такой же, как требуется в расчетах по данным статического зондирования: $h_{\text{опор}} = 5d = 1,75$ м (п. 5.11 СНиП 2.02.03-85).

Для глинистых грунтов показатель текучести I_L , используемый в табл. 1 и 2 СНиП 2.02.03-85, вычисляется при полном водонасыщении по формуле:

$$I_L = \begin{cases} x \equiv \frac{0,9e\gamma_w - W_p}{W_L - W_p}, & \text{если } x > 0,4; \\ 0,4, & \text{если } x < 0,4. \end{cases} \quad (3.11)$$

Обозначения переменных в правой части этой формулы поясняются в п. 8.6 СНиП 2.02.03-85.

Допускаемую нагрузку на сваю вычисляем по формуле:

$$N = \frac{F_d}{1,4} - \gamma_c P_n . \quad (3.12)$$

Геометрические характеристики в данной задаче: $A = d^2 = 0,1225 \text{ м}^2$; $u = 4d = 1,4 \text{ м}$.

Определяем силу расчетного сопротивления грунта на боковой поверхности сваи по табл. 2 СНиП 2.02.03-85. Результаты сведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Таблица слоев, создающих боковое сопротивление сваи

№ под-слоя	Глубина, м	Наимен. РГЭ	Вид грунта	Разновидность	Степень плотн.	I_L	e	Толщина слоя h_i , м	f_i , т/м ²
1	6.30	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	0.590	0.21	5.50
2	6.80	РГЭ-3	Глин.	Глина	-	0.400	0.986	0.80	3.18
3	7.85	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	0.590	1.30	5.70
4	8.80	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	-	0.710	0.60	4.48
5	9.45	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	0.590	0.70	5.91
6	10.15	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	-	0.710	0.70	4.61
7	10.85	РГЭ-3	Глин.	Глина	-	0.400	0.986	0.70	3.47
8	12.05	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	0.590	1.70	6.25
9	13.15	РГЭ-3	Глин.	Глина	-	0.400	0.986	0.50	3.65
10	13.73	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	0.590	0.66	6.46

Примечания:

1. Слои грунта разделены на подслои толщиной до 2 м.
2. Глубина в графе 2 — это условная глубина до середины подслоя, определяемая согласно примечанию 2 к табл. 1 СНиП 2.02.03-85.
3. Пл.(СЗ) — песок плотный с определением степени плотности по данным СЗ. Ср.пл. — песок средней плотности.

Расчетные сопротивления f_i для глинистых слоев вычислялись двойной интерполяцией данных табл. 2 СНиП 2.02.03-85. Рассмотрим пример подслоя 7. Вычисляем показатель текучести:

$$x \equiv \frac{\frac{0,9 \cdot 0,986 \cdot 1}{2,73} - 0,247}{0,46 - 0,247} = 0,37; \quad x < 0,4 \Rightarrow I_L = 0,4.$$

Условная глубина расположения подслоя 7 составляет $z_{\text{усл}} = 10,85 \text{ м}$. Устанавливаем сопротивление грунта для табличных глубин 10 м и 15 м. В общем случае требуется интерполировать табличные данные для каждой глубины по показателю текучести, но в данном случае интерполяция не требуется: $f_{7, 10 \text{ м}} = 3,4 \text{ т/м}^2$; $f_{7, 15 \text{ м}} = 3,8 \text{ т/м}^2$. Интерполируем боковое сопротивление грунта по глубине:

$$f_5 = 3.4 \cdot \frac{15 - 10.85}{5} + 3.8 \cdot \frac{10.85 - 10}{5} = 3.47 \text{ т/м}^2.$$

При коэффициенте пористости $e = 0,99$ корректировка полученной величины согласно примечанию 4 к табл. 2 СНиП 2.02.03-85 не требуется.

Расчетные сопротивления f_i для песчаных слоев вычислялись интерполяцией данных табл. 2 СНиП 2.02.03-85 по глубине. Например, для подслоя 5 имеем:

$$f'_5 = 4.4 \cdot \frac{10 - 9.45}{2} + 4.6 \cdot \frac{9.45 - 8}{2} = 4.55 \text{ т/м}^2.$$

Корректировка полученной величины согласно примечанию 3 к табл. 2 СНиП 2.02.03-85 дает для плотного песка: $f_5 = 1,3f'_5 = 5,91 \text{ т/м}^2$.

Составляющая силы расчетного сопротивления грунта на боковой поверхности:

$$F_{\text{бок}} = \gamma_c u \sum \gamma_{cf} f_i h_i = 28,2 \text{ т.}$$

Вычисляем силу расчетного сопротивления грунта под нижним концом сваи по табл. 1 СНиП 2.02.03-85. Результаты сведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Таблица слоев, создающих лобовое сопротивление сваи

№ слоя	Глубина, м	Наимен. РГЭ	Вид грунта	Разновидность	Степень плотн.	I_l	Толщина слоя h_i , м	R_i , т/м ²
1	14.06	РГЭ-46	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	2.44	455.0

Примечание. Глубина в графе 2 — это условная глубина до кровли слоя опорной толщи, определяемая согласно примечанию 2 к табл. 1 СНиП 2.02.03-85.

Опорная толща содержит один слой. Его расчетное сопротивление вычисляем интерполяцией данных табл. 1 по глубине:

$$R'_1 = 260 \cdot \frac{15 - 14.06}{5} + 290 \cdot \frac{14.06 - 10}{5} = 284.4 \text{ т/м}^2.$$

Корректировка полученной величины согласно примечанию 4 к табл. 1 СНиП 2.02.03-85 дает для плотного песка при наличии лидерных скважин: $R_1 = 1.6R'_1 = 455.0 \text{ т/м}^2$.

Составляющая силы расчетного сопротивления грунта под нижним концом сваи:

$$F_{\text{лоб}} = \gamma_c \gamma_{cR} R A = 55,7 \text{ т.}$$

Получаем несущую способность сваи под просадочной толщей по скважине 6: $F_d = 28,2 + 55,7 = 83,9 \text{ т.}$

Допускаемая нагрузка на сваю согласно формуле (3.12):

$$N = \frac{83.9}{1.4} - 0.415 \cdot 24.5 = 49.8 \text{ т.}$$

Характеристики несущей способности по скважинам сведены в табл. 3.8.

Для секции 1Б принимаем допускаемую нагрузку на сваю как наименьшее из полученных значений $N = 46,2$ т.

Таблица 3.8

Характеристики несущей способности

№ скважины	Составляющие несущей способности		Сила нег. трен. P_n , Т	Составляющие допуск. нагрузки		Доп. нагр. N , Т	Примечания
	$F_{бок}$, Т	$F_{лоб}$, Т		$\frac{F_d}{1,4}$, Т	$\gamma_c P_n$, Т		
5	29.8	55.3	22.2	60.7	11.3	49.4	Насыпной грунт учитывается как источник негативного трения
6	28.2	55.7	24.5	60.0	10.2	49.8	
3	27.2	55.0	26.1	58.7	11.8	46.9	
4	27.6	55.0	27.8	59.0	9.9	49.2	

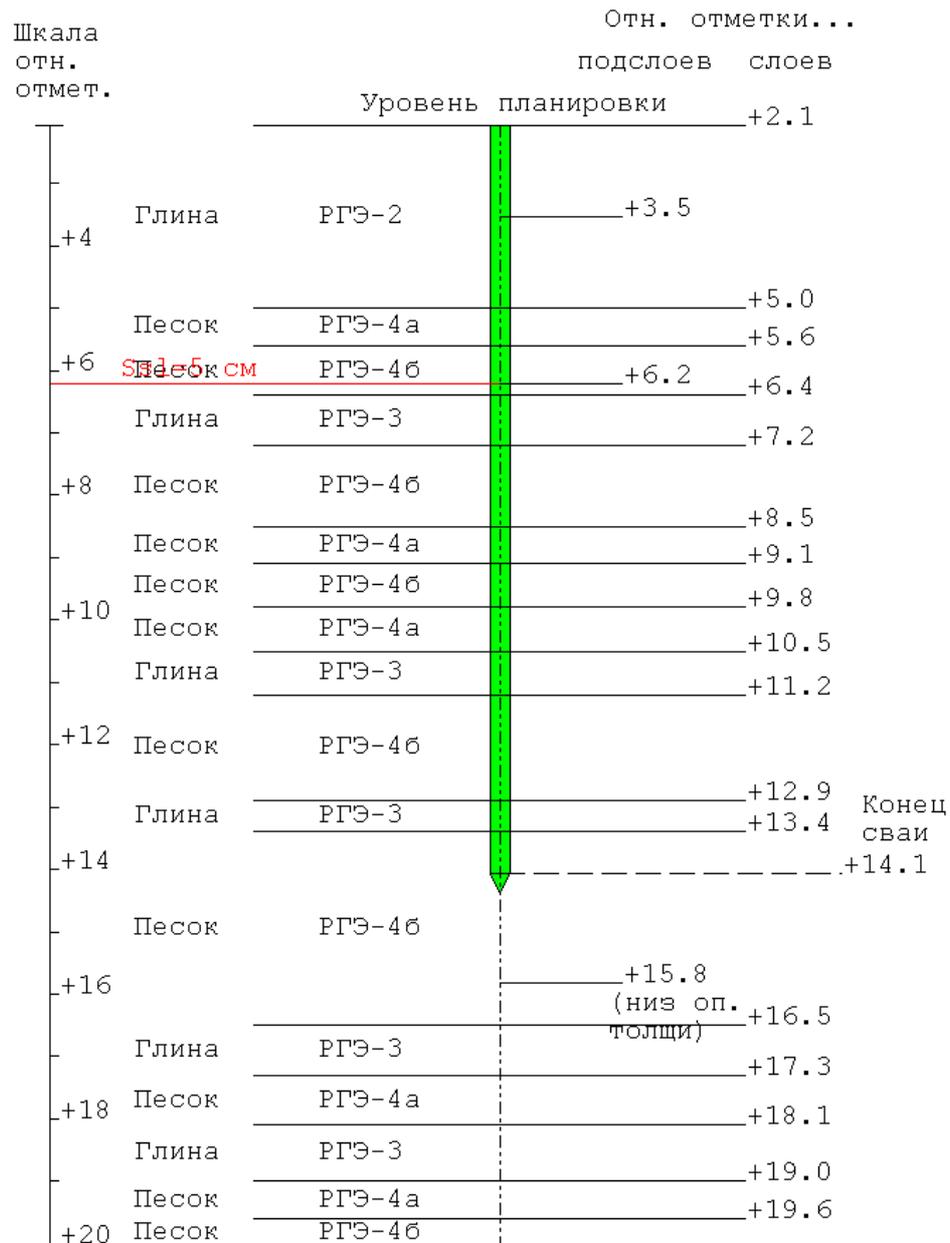


Рис. 3.5. Геологический разрез для скважины 6

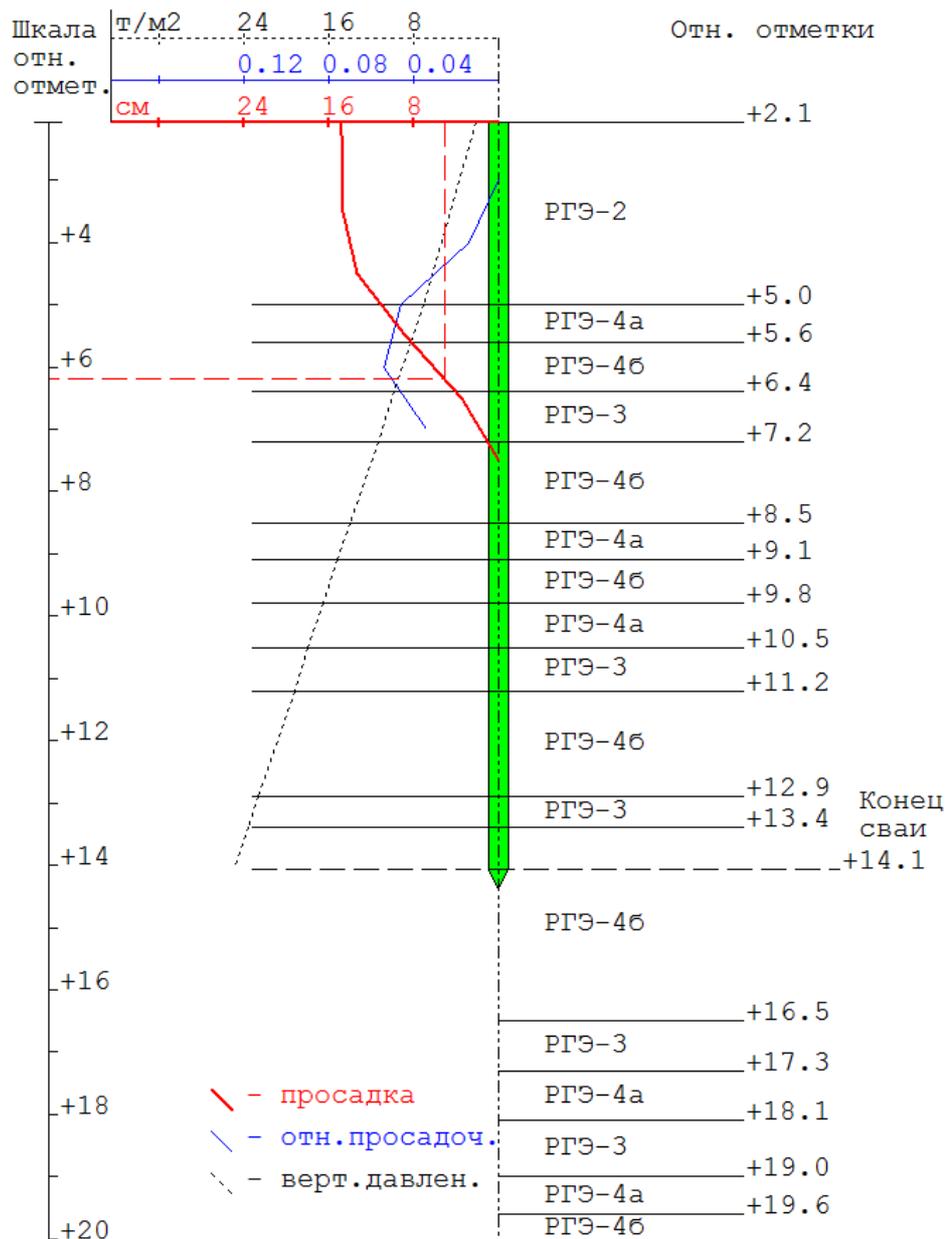


Рис. 3.6. Эпюры НДС просадочной толщи для скважины. 6

— Рис. 3.2—3.4 содержат разрезы по другим скважинам и в образец отчета не включены. Данный образец получен форматированием текстового файла подробного отчета. Часть этого файла, содержащая полный расчет по скважине 6, приводится ниже (удаленная часть содержит аналогичные расчеты по остальным скважинам).

О заполнении таблиц образца отчета см. пояснения к образцу отчета в разд. 3. Там же поясняется техника учета глинистых опорных слоев.

.

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ ПО СКВАЖИНЕ '6'

Исходные данные по свайному полю:
 абс. отм. дна котлована +4.55;
 вид сваи - забивная;
 длина сваи [м] = 12.00;
 диаметр сваи [м] = 0.35;
 поперечное сечение сваи квадратное;
 коэф-т усл. работы под ниж. концом сваи $\gamma_{cR} = 1.00$;
 коэф-т усл. работы на бок. п-ти сваи $\gamma_{cF} = 0.50$;
 высота опорной толщи [м] = 1.75;
 учет насыпного грунта - нет;
 погружение свай с подмывом или в лидерные скв. - да;
 просадочность на площадке - 2 тип;
 учитывать взвешивающее действие грунтовых вод - нет;
 предельная осадка [см] = 12.00;
 глубина котлована по ГП [м] = 1.30;
 учет негативного трения - по СНиП 2.02.03-85;
 обозначение или номер скважины: 6.

Использованы данные файлов: "LS_6.txt", "ST_6.txt", "TSoilMod.txt", "TRhMProp.txt";

для проверки ввода созданы файлы: "~ST_6.txt", "~LS_6.txt".

Результаты анализа просадки по СНиП 2.02.01-83*:

Таблица вертикального давления грунта в подошве слоя

Отн. отм. [м]	Глубина по ГП [м]	Наимен. РГЭ	γ_0 [г/см ³]	σ_{zg} [т/м ²]
2.00	1.24	Н	1.64	2.03
5.00	4.24	РГЭ-2	1.65	6.98
5.60	4.84	РГЭ-4а	1.97	8.17
6.40	5.64	РГЭ-4б	2.04	9.80
7.20	6.44	РГЭ-3	1.81	11.25
8.50	7.74	РГЭ-4б	2.04	13.90
9.10	8.34	РГЭ-4а	1.97	15.08
9.80	9.04	РГЭ-4б	2.04	16.51
10.50	9.74	РГЭ-4а	1.97	17.89
11.20	10.44	РГЭ-3	1.81	19.15
12.90	12.14	РГЭ-4б	2.04	22.62
13.40	12.64	РГЭ-3	1.81	23.53
14.06	13.30	РГЭ-4б	2.04	24.87

Примечания к таблице:

глубина по генплану - от отметки планировки благоустройства;

плотность грунта дана при природной влажности.

Таблица просадок

От.отм. s_sl [м]	Глубина [м]	От.отм. eps_sl [м]	sig_zg [т/м2]	eps_sl	s_sl [см]
2.06	0.00	2.00	2.13	0.0043	14.85
2.50	0.44	3.00	3.68	0.0000	14.66
3.50	1.44	4.00	5.33	0.0133	14.66
4.50	2.44	5.00	6.98	0.0459	13.33
5.50	3.44	6.00	8.98	0.0539	8.74
6.50	4.44	7.00	10.88	0.0335	3.35
7.50	5.44	-	-	-	0.00

Примечание к таблице: отн. отметки даны соответственно для величин s_sl и eps_sl.

Отн.отм. границы негативного трения: +6.19; просадка [см]: 14.85.

Давление на уровне дна котлована [т/м2]: 2.13.

Давление в подошве просадочной толщи [т/м2]: 11.86.

Результаты расчета негативного трения:

Усредненные по просад. толще х-ки грунта:

c_I [т/м2] = 2.96; fi_I [град] = 17.94.

Таблица слоев, создающих негативное трение

Отн. отм. [м]	Глубина [м]	Наимен. РГЭ	Вид грунта	sig_zg [т/м2]	h_i [м]	tau_i [т/м2]
2.80	0.74	РГЭ-2	Глин.	3.35	1.47	3.72
4.26	2.20	РГЭ-2	Глин.	5.77	1.47	4.27
5.30	3.24	РГЭ-4а	Песч.	7.57	0.60	4.68
5.90	3.84	РГЭ-4б	Песч.	8.77	0.59	4.95

Примечание к таблице: глубина дана для середины подслоя.

Негативное трение [т]: Pn = u * Сумма tau_i*h_i = 24.47;

коэффициент условий работы просадочной толщи: gamma_c = 0.41.

Результаты расчета несущей способности сваи:

Таблица слоев в опорной толще под сваей

Глубина [м]	Наимен. РГЭ	Вид грунта	Разно- видн.	Степ. плотн.	Il	h_i [м]	R_i [т/м2]
14.06	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	2.44	454.98

Расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи:

R [т/м2] = (Сумма R_i*h_i)/(Сумма h_i) = 454.98.

Таблица слоев, создающих боковое сопротивление сваи

Глубина [м]	Наимен. РГЭ	Вид грунта	Разно- видн.	Степ. плотн.	Il	e	h_i [м]	f_i [т/м2]
6.30	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	0.590	0.21	5.50

6.80	РГЭ-3	Глин.	Глина	-	0.400	0.986	0.80	3.18
7.85	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	0.590	1.30	5.70
8.80	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	-	0.710	0.60	4.48
9.45	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	0.590	0.70	5.91
10.15	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	-	0.710	0.70	4.61
10.85	РГЭ-3	Глин.	Глина	-	0.400	0.986	0.70	3.47
12.05	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	0.590	1.70	6.25
13.15	РГЭ-3	Глин.	Глина	-	0.400	0.986	0.50	3.65
13.73	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(СЗ)	-	0.590	0.66	6.46

Составляющие несущей способности сваи:

сопротивление боковое [т]: $\gamma_{cf} * u * \sum f_i * h_i = 28.20$;
сопротивление лобовое [т]: $\gamma_{cR} * R * A = 55.73$.

Сумма [т] = 83.93.

Примечания:

показатели текучести вычислялись при $Sr=0.9$;

отн. отметка дна котлована +2.06;

в таблице слоев опорной толщи приводится условная глубина до кровли слоя;

в таблице расчета бокового сопротивления приводится условная глубина до середины подслоя.

Обобщенные результаты:

расчетная нагрузка на ствол сваи под зоной нег. трения [т]: $Fd/1.4 = 59.95$;

негативная составляющая расчетной нагрузки [т]: $\gamma_c * Pn = 10.15$;

расчетная нагрузка на сваю [т]: $Fd/1.4 - \gamma_c * Pn = 49.80$.

.

ВЫБОРКА РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ НА СВАЮ ПО СКВАЖИНАМ
(единица измерения - тонна)

Наим. скв.	Бок. сост. Fd	Лоб. сост. Fd	Нег. сила Pn	Сост. РН Fd/1.4	Нег. сост. РН	Полная РН N
5	29.76	55.25	22.20	60.72	11.31	49.41
6	28.20	55.73	24.47	59.95	10.15	49.80
3	27.20	54.97	26.06	58.69	11.79	46.90
4	27.64	54.99	27.77	59.02	9.86	49.16

Примечание:

$N = Fd/1.4 - \gamma_c * Pn$, где Fd - несущая способность сваи;

N - расч.нагрузка (РН).

(Статистическая обработка данных не проводилась.)

5. Определение несущей способности буровой сваи в неспецифическом грунте расчетом по разновидностям грунтов

Излагаемый далее подразд. 3.2 отчета выполнен по данным демонстрационной площадки. Файл этого расчета помещен в подпапку HELP рабочей папки программы под именем “КД_демо3.geo”. Чтобы запустить этот расчет, необходимо прежде скопировать папку DATA, прилагаемую к пакету, из каталога программы в корень диска D.

Особенность предлагаемого образца отчета в том, что вычисления боковой составляющей несущей способности не в точности повторяют машинный расчет: в машинном расчете коэффициент условий работы на боковой поверхности сваи выбран минимальным по всем слоям $\gamma_{cf} = 0,6$, тогда как в образце отчета учтено, что этот коэффициент для части слоев составляет 0,7. Изменения свелись к корректировке последней операции расчета боковой составляющей — операции накопления (послойного суммирования произведений) табличных данных. Сравните предлагаемые отчетные материалы с машинным расчетом — различия несущей способности по одинаковым скважинам незначительные.

ОБРАЗЕЦ

3.2. Определение несущей способности сваи

Расчет выполняется по СНиП 2.02.03-85, пп. 3.10, 4.6, 4.7. Величины несущей способности получены по 4 скважинам, расположенным в углах плана фундамента. Исходные данные на расчет:

характеристики сваи и способ изготовления: буровая с уширением; длина $h_{св} = 9$ м; диаметр ствола $d = 0,43$ м; диаметр уширения $d_1 = 0,8$ м; изготовление под защитой обсадных труб с бетонированием уширения в воде;

отметки верха и низа свай в табл. 3.1;

структура грунта по скважинам для расчета сопротивления под нижним концом и на боковой поверхности сваи представлена на рис. 3.2—3.5;

УГВ ниже опорной толщи свай (природная влажность грунта);

характеристики РГЭ взяты из отчета об инженерно-геологических изысканиях.

Таблица 3.1

Отметки верха и низа свайного поля в точках зондирования

Скважина №	Отметка планировки котлована		Отметка нижнего конца сваи		Примечания
	абсолютная	относительная	абсолютная	относительная	
5	4.55	2.32	-4.45	11.32	Секция 1В
6	4.55	2.06	-4.45	11.06	
7	4.55	5.09	-4.45	14.09	
8	4.55	5.20	-4.45	14.20	

Далее приводится расчет только по скважине 6. По остальным скважинам схема расчета та же.

Расчетные формулы для вычисления несущей способности сваи:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i); \quad (3.1)$$

$$R = \min_{h_{св} - 2М < z_i < h_{св} + h_{опор}} R(z_i). \quad (3.2)$$

Для коэффициентов условий работы в данной задаче принимаем:

$$\gamma_c = 1; \quad \gamma_{cR} = 0,9;$$

$$\gamma_{cf} = \begin{cases} 0,7, & \text{если слой песка;} \\ 0,6, & \text{если слой глины.} \end{cases}$$

Формула (3.2) позволяет вычислить сопротивление грунта под нижним концом сваи в случае, когда опорная толща имеет под нижним концом сваи высоту $h_{опор}$ и состоит из нескольких слоев. Заметим, что к опорной толще в данном случае следует относить также слои на 2 м выше нижнего конца сваи согласно примечанию к п. 4.7 СНиП 2.02.03-85. $R(z)$ — расчетное сопротивление под нижним концом сваи, вычисленное по п. 4.7 СНиП 2.02.03-85 в предположении, что вся опорная толща грунта в литологическом отношении такая же, что на глубине z . z_i — глубина середины i -го слоя, создающего сопротивление под нижним концом сваи. Минимизация в этой формуле выполняется по всем слоям, лежащим в опорной толще, в том числе на 2 м выше нижнего конца сваи. В ходе расчета $R(z_i)$ берутся фактические значения глубины заложения нижнего конца и усредненного удельного веса грунтов над нижним концом сваи γ_i , тогда как удельный вес в опорном слое γ'_i берется для глубины z_i . В расчете по формуле (3.2) мы получаем гарантирующее расчетное сопротивление перебором всех слоев, участвующих в работе грунта под нижним концом сваи. Высота опорной толщи в данном расчете принята $h_{опор} = 5d_1 = 4$ м, по аналогии с требованиями к опорной толще в расчетах по данным статического зондирования (п. 5.11 СНиП 2.02.03-85).

В формуле (3.1) разбиение на подслои для расчета бокового сопротивления выполнялось с учетом примечания к п. 4.6 СНиП 2.02.03-85: строился конус неучета песка в боковом сопротивлении сваи от контура уширения сваи вверх с углом наклона образующей $\bar{\varphi}_1/2$, где $\bar{\varphi}_1$ — осредненный угол внутреннего трения. Высота конуса вычисляется в виде:

$$h_1 = \frac{d_1 - d}{2} \operatorname{ctg} \frac{\bar{\varphi}_1}{2}. \quad (3.3)$$

Соответствующий осредненный угол составит

$$\bar{\varphi}'_1 = h_1^{-1} \sum \varphi_{1i} h_i, \quad (3.4)$$

где φ_{i} — углы внутреннего трения по слоям в пределах высоты h_1 ; h_i — высоты слоев. Высота зоны неучета песка h_1 получается решением системы уравнений (3.3)—(3.4) относительно неизвестных h_1 , $\bar{\varphi}_1$ при требовании $\bar{\varphi}'_1 = \bar{\varphi}_1$, однако эту высоту можно установить «с запасом», выбирая $\bar{\varphi}_1$ из условия

$$\bar{\varphi}'_1 \geq \bar{\varphi}_1. \quad (3.5)$$

Соотношения (3.3)—(3.5) также следует отнести к числу расчетных формул задачи.

Геометрические характеристики в данной задаче:

$$A = \pi d_1^2 / 4 = 0,5027 \text{ м}^2; u = \pi d = 1,351 \text{ м.}$$

Определяем силу расчетного сопротивления грунта на боковой поверхности сваи по табл. 2 СНиП 2.02.03-85. Результаты сведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Таблица слоев, создающих боковое сопротивление сваи

№ под-слоя	Глубина, м	Наимен. РГЭ	Вид грунта	Разновидность	Степень плотн.	I_L	e	КУР γ_{cf}	Толщина слоя h_i , м	f_i , т/м ²
1	2.80	РГЭ-2	Глин.	Глина	-	0.280	1.399	0.6	1.47	3.65
2	4.26	РГЭ-2	Глин.	Глина	-	0.280	1.399	0.6	1.47	4.16
3	5.30	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	-	0.710	0.7	0.60	4.06
4	6.00	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(С3)	-	0.590	0.7	0.80	5.46
5	6.80	РГЭ-3	Глин.	Глина	-	0.350	0.986	0.6	0.80	3.73
6	7.85	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(С3)	-	0.590	0.7	1.30	5.70
7	8.80	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	-	0.710	0.7	0.60	4.48
8	9.45	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл.(С3)	-	0.590	0.7	0.70	5.91
9	9.96	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	-	0.710	0.7	0.31	4.60
10	10.78	РГЭ-3	Глин.	Глина	-	0.350	0.986	0.6	0.56	4.07

Примечания:

1. Слои грунта разделены на подслои толщиной до 2 м.
2. Глубина в графе 2 — это условная глубина до середины подслоя, определяемая согласно примечанию 2 к табл. 1 СНиП 2.02.03-85.
3. Пл.(С3) — песок плотный, с определением плотности по данным С3. Ср.пл. — песок средней плотности.

Проверим, что в конусе неучета песка можно принять усредненный угол $\bar{\varphi}_1 = 22,07^\circ$. Высота осреднения

$$h_1 = \frac{d_1 - d}{2} \operatorname{ctg} \frac{\bar{\varphi}_1}{2} = \frac{0.80 - 0.43}{2} 5.128 = 0.949 \text{ м.}$$

Соответствующий конус показан на рис. 3.3. Верх зоны неучета песка находится на отн. отметке +10,11. На высоте этой зоны имеются два подслоя и осредненный угол составляет:

$$\bar{\varphi}'_1 = h_1^{-1} \sum \varphi_{ii} h_i = 0,95^{-1} (17,6^\circ \cdot 0,56 + 29,2^\circ \cdot 0,39) = 22,35^\circ. \Rightarrow$$

В пределах точности вычислений осредненный угол принят правильно.

Расчетные сопротивления f_i для глинистых слоев вычислялись двойной интерполяцией данных табл. 2 СНиП 2.02.03-85. Например, для подслоя 5 имеем показатель текучести $I_L = 0,35$ и среднюю условную глубину расположения подслоя $z' = 6,8$ м. Интерполируем сопротивление грунта по I_L для табличных глубин 6 м и 8 м:

$$f_{5,6\text{ м}} = 4,2 \cdot \frac{0,4 - 0,35}{0,1} + 3,1 \cdot \frac{0,35 - 0,3}{0,1} = 3,65 \text{ т/м}^2;$$

$$f_{5,8\text{ м}} = 4,4 \cdot \frac{0,4 - 0,35}{0,1} + 3,3 \cdot \frac{0,35 - 0,3}{0,1} = 3,85 \text{ т/м}^2.$$

Повторно интерполируем боковое сопротивление грунта по глубине:

$$f_5 = 3,65 \cdot \frac{8 - 6,8}{2} + 3,85 \cdot \frac{6,8 - 6}{2} = 3,73 \text{ т/м}^2.$$

При коэффициенте пористости $e = 0,986$ корректировка полученной величины согласно примечанию 4 к табл. 2 СНиП 2.02.03-85 не требуется.

Расчетные сопротивления f_i для песчаных слоев вычислялись интерполяцией данных табл. 2 по глубине. Например, для подслоя 6 имеем:

$$f'_6 = 4,2 \cdot \frac{8 - 7,85}{2} + 4,4 \cdot \frac{7,85 - 6}{2} = 4,385 \text{ т/м}^2.$$

Корректировка полученной величины согласно примечанию 3 к табл. 2 СНиП 2.02.03-85 дает для плотного песка: $f_6 = 1,3 \cdot f'_6 = 5,7 \text{ т/м}^2$.

Составляющая силы расчетного сопротивления грунта на боковой поверхности:

$$F_{\text{бок}} = \gamma_{cu} \sum \gamma_{cf} f_i h_i = 34,83 \text{ т.}$$

Вычисляем силу расчетного сопротивления грунта под нижним концом сваи по табл. 1 СНиП. Результаты сведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Таблица слоев, создающих лобовое сопротивление сваи

№ слоя	Отн. отм. кровли, м	Глубина кровли, м	Наимен. РГЭ	Вид грунта	ϕ_i , град	Уд. вес γ_i , т/м ³	I_L	Толщина слоя h_i , м	$R(z_i)$, т/м ²
1	9.06	7.00	РГЭ-4а	Песч.	29.20	1.97	-	0.04	118.29
2	9.10	7.04	РГЭ-4б	Песч.	32.00	2.04	-	0.70	189.82
3	9.80	7.74	РГЭ-4а	Песч.	29.20	1.97	-	0.70	118.29
4	10.50	8.44	РГЭ-3	Глин.	17.60	1.81	0.350	0.70	80.83
5	11.20	9.14	РГЭ-4б	Песч.	32.00	2.04	-	1.70	189.82
6	12.90	10.84	РГЭ-3	Глин.	17.60	1.81	0.350	0.50	80.83
7	13.40	11.34	РГЭ-4б	Песч.	32.00	2.04	-	1.66	189.82

Глубина заложения нижнего конца сваи $h = 9$ м; соответственно $h/d_1 = 11,25$; усредненный по длине сваи уд. вес грунта $\gamma_1 = 1,86$ т/м³.

Расчетные сопротивления $R(z_i)$ для песчаных грунтов вычисляются по формуле:

$$R = 0,75\alpha_4(\alpha_1\gamma_1d_1 + \alpha_2\alpha_3\gamma_1h),$$

где коэффициенты α_k устанавливаются по табл. 6 СНиП 2.02.03-85 для i -го слоя. Например, для слоя 2 с углом внутреннего трения $\varphi_1 = 32^\circ$ имеем интерполяционные вычисления:

$$\alpha_1 = 34,6 \cdot \frac{33-32}{2} + 48,6 \cdot \frac{32-31}{2} = 41,6;$$

$$\alpha_2 = 64,0 \cdot \frac{33-32}{2} + 87,6 \cdot \frac{32-31}{2} = 75,8;$$

$$\alpha_{3,100} = 0,73 \cdot \frac{33-32}{2} + 0,75 \cdot \frac{32-31}{2} = 0,74;$$

$$\alpha_{3,125} = 0,70 \cdot \frac{33-32}{2} + 0,73 \cdot \frac{32-31}{2} = 0,715;$$

$$\alpha_3 = 0,74 \cdot \frac{12,5-11,25}{2,5} + 0,715 \cdot \frac{11,25-10}{2,5} = 0,7275;$$

$$\alpha_4 = 0,26 \cdot \frac{33-32}{2} + 0,25 \cdot \frac{32-31}{2} = 0,255.$$

— для коэффициента α_3 потребовалось применить двойную интерполяцию, сначала по φ_1 , потом по отношению h/d_1 . Получаем:

$$R = 0,75 \cdot 0,255(41,6 \cdot 2,04 \cdot 0,8 + 75,8 \cdot 0,7275 \cdot 1,86 \cdot 9) = 189,8 \text{ т/м}^2.$$

Расчетные сопротивления $R(z_i)$ для глинистых слоев вычислялись двойной интерполяцией данных табл. 7 СНиП 2.02.03-85. Например, для слоя 4 имеем показатель текучести $I_L = 0,35$. Интерполируем сопротивление грунта по I_L для табличных глубин 7 м и 10 м:

$$R_{7 \text{ м}} = 75 \cdot \frac{0,4-0,35}{0,1} + 60 \cdot \frac{0,35-0,3}{0,1} = 67,5 \text{ т/м}^2;$$

$$R_{10 \text{ м}} = 95 \cdot \frac{0,4-0,35}{0,1} + 80 \cdot \frac{0,35-0,3}{0,1} = 87,5 \text{ т/м}^2.$$

Повторно интерполируем сопротивление грунта по глубине:

$$R = 67,5 \cdot \frac{10-9}{3} + 87,5 \cdot \frac{9-7}{3} = 80,83 \text{ т/м}^2.$$

За окончательное значение расчетного сопротивления принимаем минимальное из табл. 3.3: $R = 80,83$ т/м².

Составляющая силы расчетного сопротивления грунта под нижним концом сваи:

$$F_{\text{лоб}} = \gamma_c \gamma_{cR} RA = 36,6 \text{ т.}$$

Получаем несущую способность сваи по скважине 6: $F_d = 34,8 + 36,6 = 71,4 \text{ т.}$

Характеристики несущей способности по скважинам сведены в табл. 3.4. Допускаемая нагрузка в последней заполненной графе вычисляется согласно п. 3.10 СНиП 2.02.03-85: $N = F_d/1,4$.

Для секции 1В принимаем допускаемую нагрузку на сваю как наименьшее из полученных значений $N = 50,5 \text{ т.}$

Таблица 3.4

Характеристики несущей способности					
№ сква- жины	Составляющие несущей способности		Нес. способность F_d , т	Допуск. нагрузка N , т	Примечания
	$F_{\text{бок}}$, т	$F_{\text{лоб}}$, т			
5	34,9	36,6	71,5	51,1	Насыпной грунт сре- зан
6	34,8	36,6	71,4	51,0	
7	37,9	36,6	74,5	53,2	
8	34,1	36,6	70,7	50,5	

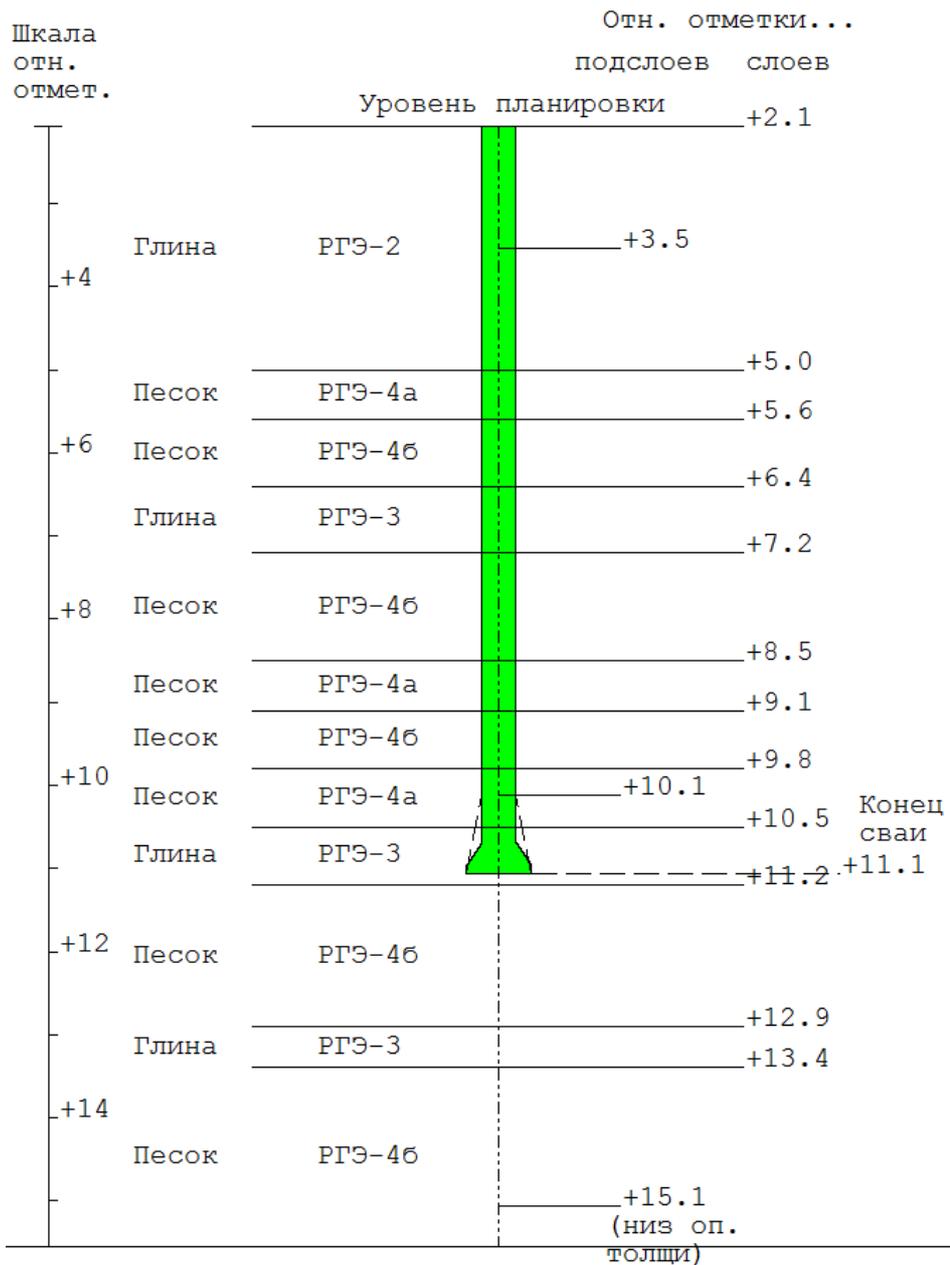


Рис. 3.3. Геологический разрез для скважины 6

— Рис. 3.2, 3.4, 3.5 содержат однотипные разрезы по другим скважинам и в образец отчета не включены. Данный образец получен форматированием текстового файла подробного отчета. Часть этого файла, содержащая полный расчет по скважине б, приводится ниже (удаленная часть содержит аналогичные расчеты по остальным скважинам).

.

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ ПО СКВАЖИНЕ 'б'

Исходные данные по свайному полю:

абс. отм. дна котлована +4.55;
 вид сваи - буровая;
 длина сваи [м] = 9.00;
 диаметр ствола сваи [м] = 0.43;
 диаметр уширения сваи [м] = 0.80;
 коэф-т усл. работы под ниж. концом сваи $\gamma_{cR} = 0.90$;
 коэф-т усл. работы на бок. п-ти сваи $\gamma_{cf} = 0.60$;
 высота опорной толщи [м] = 4.00;
 учет насыпного грунта - да;
 просадочность на площадке - нет;
 учитывать взвешивающее действие грунтовых вод - нет;
 обозначение или номер скважины: б.

Использованы данные файлов: "LS_6.txt", "TSoilMod.txt", "TPhMProp.txt";

для проверки ввода созданы файлы: "~LS_6.txt".

Результаты расчета несущей способности сваи:

Таблица слоев в опорной толще сваи

От.отм. кровли [м]	Глубина кровли [м]	Наимен. РГЭ	Вид грунта	f_i [град]	Уд.в. [т/м3]	I_l	h_i [м]	R_i [т/м2]
9.06	7.00	РГЭ-4а	Песч.	29.20	1.97	-	0.04	118.29
9.10	7.04	РГЭ-4б	Песч.	32.00	2.04	-	0.70	189.82
9.80	7.74	РГЭ-4а	Песч.	29.20	1.97	-	0.70	118.29
10.50	8.44	РГЭ-3	Глин.	17.60	1.81	0.350	0.70	80.83
11.20	9.14	РГЭ-4б	Песч.	32.00	2.04	-	1.70	189.82
12.90	10.84	РГЭ-3	Глин.	17.60	1.81	0.350	0.50	80.83
13.40	11.34	РГЭ-4б	Песч.	32.00	2.04	-	1.66	189.82

Глубина заложения нижнего конца сваи h [м] = 9.00; соответственно $h/d_1 = 11.25$;
 усредненный по длине сваи уд. вес грунта [т/м3] = 1.86.

Расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи:
 R [т/м2] = $\min R_i = 80.83$.

Таблица слоев, создающих боковое сопротивление сваи

Глубина [м]	Наимен. РГЭ	Вид грунта	Разно- видн.	Степ. плотн.	I_l	e	h_i [м]	f_i [т/м2]
2.80	РГЭ-2	Глин.	Глина	-	0.280	1.399	1.47	3.65
4.26	РГЭ-2	Глин.	Глина	-	0.280	1.399	1.47	4.16
5.30	РГЭ-4а	Песч.	Мелкий	Ср.пл.	-	0.710	0.60	4.06
6.00	РГЭ-4б	Песч.	Мелкий	Пл. (СЗ)	-	0.590	0.80	5.46

ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. 1984.