

УДК 624.15

***СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ
ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ОСАДОК ОДИНОЧНЫХ СВАЙ
АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПО СП 24.13330.2011***

Ибрагимов И.Н.

студент,

*Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет*

Санкт-Петербург, Россия

Максименко Д.А.

студент,

*Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет*

Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В данной статье рассматривается метод расчета одиночной сваи в соответствии с п. 7.4.2. СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». Результаты аналитического расчета сравниваются с фактическими осадками, получившимися при полевых работах по статическому испытанию свай. По результатам аналитического расчета и сравнении его с реальными осадками, делается вывод о целесообразности использования данного метода для оценки прогнозируемых осадок одиночных свай.

Ключевые слова: прогнозируемая осадка, фактическая осадка, полевые испытания, свайный фундамент.

***COMPARATIVE ANALYSIS OF RELIABILITY PREDICTED SEDIMENTS OF
SINGLE PILES ANALYTICAL METHOD BY SP 24.13330.2011***

Ibragimov I.N.

student,

St. Petersburg State University of Architecture

Saint-Petersburg, Russia

Maximenko A.N.

student,

St. Petersburg State University of Architecture

Saint-Petersburg, Russia

Annotation

This article discusses the method of calculating a single pile in accordance with paragraph 7.4.2. SP 24.13330.2011 "Pile foundations." The results of the analytical calculation are compared with the actual precipitation obtained during the field work on the static testing of piles. According to the results of the analytical calculation and comparing it with real precipitation, a conclusion is drawn on the advisability of using this method to estimate the predicted sediment of single piles.

Key words: predicted draft, actual draft, field testing, pile foundation.

Рассмотрим несколько площадок строительства, на которых проводились статические испытания свай:

1. г. Санкт-Петербург, Комендантский проспект, Юго-западнее пересечения с рекой Каменкой. Площадка строительства имеет следующие ИГУ (Рис. 1):

Глубина	Абс. от м.	№ ИГЭ	Наименование грунтов
0,20	8,40	ГР	Почвенно-растительный слой
2,10	6,50	ИГЭ-2	Суглинки легкие пылеватые, туглопластичные, серо-коричневые, с прослоями песков пылеватых влажных
2,90	5,70	ИГЭ-3	Супеси пылеватые пластичные, тиксоотропные коричневые с частыми прослоями песков пылеватых, насыщенных водой
4,60	4,00	ИГЭ-5	Суглинки тяжелые пылеватые, текучие, с прослоями текучепластичных песков пылеватых, насыщенных водой
6,00	2,60	ИГЭ-6	Суглинки легкие пылеватые, текучепластичные, с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой
7,00	1,60	ИГЭ-7	Суглинки легкие пылеватые, тягкопластичные, с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой
9,00	-0,40	ИГЭ-8	Супеси пылеватые пластичные, тиксоотропные, серые, с частыми прослоями песков пылеватых, насыщенных водой
10,00	-1,40	ИГЭ-9	Пески средней крупности, плотные, неоднородные, коричневые, насыщенные водой, с включениями гравия и гальки
12,90	-4,30	ИГЭ-10	Супеси пылеватые пластичные, серые, с частыми линзами и гнездами песков мелких и пылеватых, насыщенных водой
14,20	-5,60	ИГЭ-11	Супеси пылеватые твердые, серые, с частыми угловатыми линзами и гнездами песков мелких и пылеватых, влажных
21,70	-13,10	ИГЭ-10.2	Пески пылеватые, плотные, неоднородные, серые, насыщенные водой, с включениями гравия и галькой до 5%
24,40	-15,80	ИГЭ-11	Супеси пылеватые твердые, серые, с частыми угловатыми линзами и гнездами песков мелких и пылеватых, влажных

Рис.1 – Инженерно-геологические условия площадки № 1
При проведении полевых испытаний свай статической нагрузкой получили следующие результаты (таблица 1):

Таблица 1 – Результаты полевых испытаний свай

№ свай	Сечение [см]; Длина [м].	Абс. от м. острия	Срок отдыха	Проектная расчетная нагрузка [т]	Результаты испытания свай статической нагрузкой			
					Макс. нагрузка при испытании [т]	Осадка свай при макс. нагрузке [мм]	Несущая способность свай по грунту (по результатам расчета)	Грунт под острием свай (ИГЭ)
1	40x40 18,00	-5,20	49	150	225	15,59	225	ИГЭ-11 Супеси твердые

Для проверки метода для расчета осадок, описанного в п. 7.4.2. СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты», произведем расчет и сравним аналитические данные прогнозируемых осадок с фактическими осадками, получившимися при полевых испытаниях.

Аналитический расчет осадки одиночной сваи [2]

I. Определим деформационные характеристики приведенного основания по формуле (1):

$$G_i = \frac{E_{0,i}}{2(1+\nu_i)} \quad (1)$$

где, $E_{0,i}$ – модуль упругости i -го слоя грунта,

ν_i – коэффициент Пуассона i -го слоя грунта [2]

$$\text{– для ИГЭ-2 } G_2 = \frac{E_{0,2}}{2(1+\nu_2)} = \frac{9}{2(1+0,35)} = 3,33 \text{ МПа};$$

$$\text{– для ИГЭ-3 } G_3 = \frac{E_{0,3}}{2(1+\nu_3)} = \frac{12}{2(1+0,3)} = 4,62 \text{ МПа};$$

$$\text{– для ИГЭ-5 } G_5 = \frac{E_{0,5}}{2(1+\nu_5)} = \frac{5}{2(1+0,35)} = 1,85 \text{ МПа};$$

$$\text{– для ИГЭ-6 } G_6 = \frac{E_{0,6}}{2(1+\nu_6)} = \frac{8}{2(1+0,35)} = 2,96 \text{ МПа};$$

$$\text{– для ИГЭ-7 } G_7 = \frac{E_{0,7}}{2(1+\nu_7)} = \frac{9}{2(1+0,35)} = 3,33 \text{ МПа};$$

$$\text{– для ИГЭ-8 } G_8 = \frac{E_{0,8}}{2(1+\nu_8)} = \frac{12}{2(1+0,3)} = 4,62 \text{ МПа};$$

$$\text{– для ИГЭ-9 } G_9 = \frac{E_{0,9}}{2(1+\nu_9)} = \frac{45}{2(1+0,3)} = 17,31 \text{ МПа};$$

$$\text{– для ИГЭ-10 } G_{10} = \frac{E_{0,10}}{2(1+\nu_{10})} = \frac{14}{2(1+0,3)} = 23,33 \text{ МПа};$$

$$\text{– для ИГЭ-11 } G_{11} = \frac{E_{0,11}}{2(1+\nu_{11})} = \frac{21}{2(1+0,3)} = 8,08 \text{ МПа};$$

$$\text{– для ИГЭ-10.2 } G_{10.2} = \frac{E_{0,10.2}}{2(1+\nu_{10.2})} = \frac{34}{2(1+0,3)} = 13,08 \text{ МПа};$$

2. Осредненное значение модуля сдвига и коэффициента Пуассона грунтов, прорезаемых свай (2)

$$G_1 = \frac{\sum_i G_i \cdot h_i}{\sum_i h_i}; \quad \nu_1 = \frac{\sum_i \nu_i \cdot h_i}{\sum_i h_i}, \quad (2)$$

где, h_i – толщина i -го слоя грунта [2],

$$G_1 = \frac{G_2 \cdot h_2 + G_3 \cdot h_3 + G_5 \cdot h_5 + G_6 \cdot h_6 + G_7 \cdot h_7 + G_8 \cdot h_8 + G_9 \cdot h_9 + G_{10} \cdot h_{10} + G_{11} \cdot h_{11} + G_{10.2} \cdot h_{10.2/1}}{h_2 + h_3 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 + h_9 + h_{10} + h_{11} + h_{10.2/1}} =$$

$$= \frac{3,33 \cdot 1,9 + 4,62 \cdot 0,8 + 1,85 \cdot 1,7 + 2,96 \cdot 1,4 + 3,33 \cdot 1 + 4,62 \cdot 2 + 17,31 \cdot 1 + 23,33 \cdot 2,9 +$$

$$+ 8,08 \cdot 1,3 + 13,08 \cdot 0,5}{1,9 + 0,8 + 1,7 + 1,4 + 1 + 2 + 1 + 2,9 + 1,3 + 0,5} = 9,10 \text{ МПа};$$

$$v_1 = \frac{v_2 \cdot h_2 + v_3 \cdot h_3 + v_5 \cdot h_5 + v_6 \cdot h_6 + v_7 \cdot h_7 + v_8 \cdot h_8 + v_9 \cdot h_9 + v_{10} \cdot h_{10} + v_{11} \cdot h_{11} + v_{10.2} \cdot h_{10.2/1}}{h_2 + h_3 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 + h_9 + h_{10} + h_{11} + h_{10.2}} =$$

$$= \frac{0,35 \cdot 1,9 + 0,3 \cdot 0,8 + 0,35 \cdot 1,7 + 0,35 \cdot 1,4 + 0,35 \cdot 1 + 0,3 \cdot 2 + 0,3 \cdot 1 + 0,3 \cdot 2,9 + 0,3 \cdot 1,3 + 0,3 \cdot 0,5}{1,9 + 0,8 + 1,7 + 1,4 + 1 + 2 + 1 + 2,9 + 1,3 + 0,5} = 0,32;$$

3. Модуль сдвига и коэффициент Пуассона грунта под нижним концом сваи

$$G_2 = G''' = 13,08 \text{ МПа}; \quad v_2 = v''' = 0,3;$$

4. Подсчитаем все необходимые для расчета коэффициенты и параметры

$$k_{v1} = 2,82 - 3,78 \cdot v_1 + 2,18 \cdot v_1^2 = 2,82 - 3,78 \cdot 0,32 + 2,18 \cdot 0,32^2 = 1,83;$$

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{0,32 + 0,3}{2} = 0,31;$$

$$k_v = 2,82 - 3,78 \cdot v + 2,18 \cdot v^2 = 2,82 - 3,78 \cdot 0,31 + 2,18 \cdot 0,31^2 = 1,858;$$

$$\alpha' = 0,17 \ln\left(\frac{k_{v1} \cdot l}{d}\right) = 0,17 \ln\left(\frac{1,83 \cdot 14,5}{0,451}\right) = 0,693;$$

$$\beta' = 0,17 \ln\left(\frac{k_v \cdot G_1 \cdot l}{G_2 \cdot d}\right) = 0,17 \ln\left(\frac{1,858 \cdot 9,10 \cdot 14,5}{13,08 \cdot 0,451}\right) = 0,634;$$

5. Модуль упругости материала ствола сваи $E = 27,5 \text{ МПа}$ (бетон класса В20), поэтому жесткость ствола на сжатие [1]

$$EA = E \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 27,5 \cdot 10^3 \frac{3,14 \cdot 0,451^2}{4} = 4,39 \cdot 10^3 \text{ кН};$$

6. Относительная жесткость сваи

$$\chi = \frac{EA}{G_1 l^2} = \frac{4,39 \cdot 10^3}{9,10 \cdot 14,5^2} = 2,29;$$

Находим

$$\lambda_1 = \frac{2.12 \cdot \chi^{3/4}}{1 + 2.12 \cdot \chi^{3/4}} = \frac{2.12 \cdot 2,29^{3/4}}{1 + 2.12 \cdot 2,29^{3/4}} = 0.798;$$

$$\beta = \frac{\beta'}{\lambda_1} + \frac{(1 - \frac{\beta'}{\alpha'})}{\chi} = \frac{0.634}{0.798} + \frac{(1 - \frac{0.634}{0.693})}{2,29} = 0.832;$$

Определяем осадку одиночных свай 1 и 2

$$s'_1 = s'_2 = \beta \frac{N_1}{G_1 \cdot l} = 0.832 \cdot \frac{0.225}{9,10 \cdot 14,5} = 0.00142 м;$$

где N_1 , – вертикальная нагрузка, передаваемая на сваю 1 [2]

$S = 1,42 мм$ - осадка одиночной сваи, полученная аналитическим методом

$S = 15,59 мм$ - осадка одиночной сваи, полученная при полевых испытаниях.

П. г. Санкт-Петербург, Пушкинский район, пос. Шушары, территория предприятия «Шушары» Площадка строительства имеет следующие ИГУ (Рис. 2). При проведении полевых испытаний свай статической нагрузкой получились следующие результаты (Рис. 3)

1. На основе модуля деформаций и коэффициента Пуассона вычисляются модули сдвига каждого из слоев по формуле:

$$\text{ИГЭ-3 } G_3 = \frac{E_{0,3}}{2(1+\nu_3)} = \frac{17}{2(1+0,3)} = 6,54 \text{ МПа}$$

$$\text{ИГЭ-4 } G_4 = \frac{E_{0,4}}{2(1+\nu_4)} = \frac{15}{2(1+0,35)} = 5,56 \text{ МПа}$$

$$\text{ИГЭ-6 } G_6 = \frac{E_{0,6}}{2(1+\nu_6)} = \frac{13}{2(1+0,3)} = 5 \text{ МПа}$$

$$\text{ИГЭ-8 } G_8 = \frac{E_{0,8}}{2(1+\nu_8)} = \frac{10}{2(1+0,35)} = 3,7 \text{ МПа}$$

Геологический разрез XXI-XXI			
Абс. отм. устья скв.:		+16,7 м	Скв. 26
Глубина	ИГЭ	Наименование грунтов	Абс. отм.
1,3	(3)	Супеси пылеватые серовато-коричневые ожелезненные с редким гравием твердые (по Св тугопластичные) ($I_L=0,12; E=170 \text{ кгс/см}^2$)	+15,4
3,3	(4)	Суглинки легкие пылеватые серые ожелезненные полутвердые (по Св полутвердые) ($I_L=0,05; E=150 \text{ кгс/см}^2$)	+13,4
6,1	(6)	Супеси пылеватые серые с прослоями песка с редким гравием пластичные (по Св тугопластичные) ($I_L=0,19; E=130 \text{ кгс/см}^2$)	+10,6
12,0	(8)	Суглинки легкие пылеватые серые с гравием мягкопластичные (по Св мягкопластичные) ($I_L=0,61; E=100 \text{ кгс/см}^2$)	+4,7
15,3	(9)	Суглинки легкие пылеватые голубовато-серые с гравием с обломками песчаника тугопластичные (по Св тугопластичные) ($I_L=0,34; E=120 \text{ кгс/см}^2$)	+1,4
18,5	(10)	Суглинки легкие пылеватые серовато-голубые с обломками песчаника с редким гравием обогащенные глинистым материалом полутвердые (по Св полутвердые) ($I_L=0,07; E=130 \text{ кгс/см}^2$)	-1,8
25,1	(11)	Суглинки тяжелые пылеватые серовато-голубые с прослоями песчаника с гравием обогащенные глинистым материалом твердые (по Св полутвердые) ($I_L=0,18; E=150 \text{ кгс/см}^2$)	-8,4

Рис.2 – Инженерно-геологические условия площадки № 2

№ сваи	Сечение (мм) Длина (м)	Абс. отм. верха сваи (м) Абс. отм. низа сваи (м)	Дата испытания Срок "отдыха" (сутки)	Ожидаемая расчетная нагрузка (тонны)	Результаты испытаний статической нагрузкой			
					Максимальная нагрузка при испытании (тонны)	Осадка при макс. нагрузке, (мм)	Частное значение предельного сопротивления сваи F_u , (ТСН 50-302-2004) (т)	Грунт под острием сваи I_L E (кгс/см ²)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
319	350*350 16,00	+14,757 -1,243	01.02.2018 58	72	108	13,10	108	Суглинки полутвердые 0,07 130

Рис. 3 - Результаты полевых испытаний свай

$$\text{ИГЭ-9 } G_9 = \frac{E_{0,9}}{2(1+\nu_9)} = \frac{12}{2(1+0,35)} = 4,44 \text{ МПа}$$

$$\text{ИГЭ-10 } G_{10} = \frac{E_{0,10}}{2(1+\nu_{10})} = \frac{13}{2(1+0,35)} = 4,81 \text{ МПа}$$

2. Значение модуля сдвига и коэффициента Пуассона путем осреднения для всех слоев грунта в пределах глубины погружения сваи:

$$G_1 = \frac{G_3 \cdot h_3 + G_4 \cdot h_4 + G_6 \cdot h_6 + G_8 \cdot h_8 + G_9 \cdot h_9 + G_{10} \cdot h_{10}}{h_3 + h_4 + h_6 + h_8 + h_9 + h_{10}}$$

$$= \frac{6,54 \cdot 1,3 + 5,56 \cdot 2,0 + 5 \cdot 2,8 + 3,7 \cdot 5,9 + 4,44 \cdot 3,3 + 4,81 \cdot 3,2}{1,3 + 2 + 2,8 + 5,9 + 3,3 + 3,2} = 4,62 \text{ МПа}$$

$$\nu_1 = \frac{\nu_3 \cdot h_3 + \nu_4 \cdot h_4 + \nu_6 \cdot h_6 + \nu_8 \cdot h_8 + \nu_9 \cdot h_9 + \nu_{10} \cdot h_{10}}{h_3 + h_4 + h_6 + h_8 + h_9 + h_{10}}$$

$$= \frac{0,3 \cdot 1,3 + 0,35 \cdot 2,0 + 0,3 \cdot 2,8 + 0,35 \cdot 5,9 + 0,35 \cdot 3,3 + 0,35 \cdot 3,2}{1,3 + 2 + 2,8 + 5,9 + 3,3 + 3,2} = 0,34$$

3. Модуль сдвига и коэффициент Пуассона грунта под нижним концом сваи:

$$G_2 = 4,81 \text{ МПа}; \nu_2 = 0,35$$

4. Подсчитываем все необходимые для расчёта коэффициенты и параметры:

$$K_{\nu_1} = 2,82 - 3,78 \cdot \nu_1 + 2,18 \cdot \nu_1^2 = 2,82 - 3,78 \cdot 0,34 + 2,18 \cdot 0,34^2 = 1,79$$

$$\nu = \frac{\nu_1 + \nu_2}{2} = \frac{0,34 + 0,35}{2} = 0,345$$

$$K_\nu = 2,82 - 3,78 \cdot \nu + 2,18 \cdot \nu^2 = 2,82 - 3,78 \cdot 0,345 + 2,18 \cdot 0,345^2 = 1,775$$

$$\alpha' = 0,17 \ln\left(\frac{K_{\nu_1} \cdot l}{d}\right) = 0,17 \ln\left(\frac{1,79 \cdot 16,0}{0,395}\right) = 0,73$$

$$\beta' = 0,17 \ln\left(\frac{K_\nu \cdot l \cdot G_1}{G_2 \cdot d}\right) = 0,17 \ln\left(\frac{1,775 \cdot 16,0 \cdot 4,62}{4,81 \cdot 0,395}\right) = 0,72$$

4. Модуль упругости материала ствола сваи $E_{\text{факт}} = 37,7 \text{ МПа}$ (бетон класса В30), поэтому жесткость ствола на сжатие

$$EA = 37,7 \cdot 10^3 \cdot 0,35 \cdot 0,35 = 4,62 \cdot 10^3 \text{ кН}$$

5. Относительная жёсткость сваи

$$\chi = \frac{EA}{G_1 \cdot l^2} = \frac{4,62 \cdot 10^3}{4,62 \cdot 16^2} = 3,91$$

6. Находим

$$\lambda_1 = \frac{2,12 \cdot \chi^{3/4}}{1 + 2,12 \cdot \chi^{3/4}} = \frac{2,12 \cdot 3,91^{3/4}}{1 + 2,12 \cdot 3,91^{3/4}} = 0,85$$

$$\beta = \frac{\beta'}{\lambda_1} + \frac{(1 - \frac{\beta'}{\alpha'})}{\chi} = \frac{0,72}{0,85} + \frac{(1 - \frac{0,72}{0,73})}{3,91} = 0,85$$

7. Определяем осадку одиночной сваи

$$S = \beta \frac{N_1}{l \cdot G_1} = 0,85 \cdot \frac{0,108}{16 \cdot 4,62} = 0,00207\text{м}$$

S=2,07 мм - осадка одиночной сваи, полученная аналитическим методом

S=13.1 мм - осадка одиночной сваи, полученная при полевых испытаниях.

Сравнивая полученные результаты, можно сделать вывод, что осадка, полученная аналитическим путем практически в 10 раз меньше реальной осадки, получившейся на объекте при статическом испытании. Поэтому данный метод плохо подходит для оценки прогнозируемых осадок одиночных свай.

Библиографический список:

1. ГОСТ 5686-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями»
2. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты.
3. СП 22.13330.2017 «Основания зданий и сооружений»;
4. ТСН 50-302-2004 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в г. С-Петербурге».
5. Инвестиционно-строительная компания SetlCity. URL: <http://www.setlcity.ru>
6. Инвестиционно-строительная компания Дальпитерстрой. URL: <https://www.dalpiterstroy.ru/>

Оригинальность 79%