

УДК 624.131.35: 624.154.1

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ СВАЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Моради Сани Б. канд. техн. наук, доцент,
(Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь)

В статье представлен разработанный автором уточненный метод оценки при проектировании несущей способности оснований свай по результатам статического зондирования в песках посредством более достоверных корреляционных зависимостей с поправочными коэффициентами исходя из принятой активной зоны и учета характера опрессовки окружающего грунта за счет особенностей технологии устройства и размеров свай.

This article presents the developed method which gives more reliable results with using the correction factors for evaluation the bearing capacity of pile foundations based on the results of the static cone penetration test on sands.

Введение

Предлагаемый метод прогноза в песчаных грунтах несущей способности оснований забивных и набивных свай по результатам статического зондирования позволяет учитывать технологию устройства свай (набивные и забивные сваи), диаметры их стволов и глубину погружения в несущие слои.

Несущая способность свай

Несущую способность песчаных грунтов в основании сваи со стволом постоянного сечения определяем по следующей формуле:

$$Q = Q_b + Q_s = k_c \cdot \bar{q}_c \cdot A_b + k_f \cdot f_p \cdot A_s, \quad (1)$$

где Q_b – сопротивление грунта под нижней пятой сваи, кН;

Q_s – сопротивление грунта вдоль ствола сваи, кН;

k_c – поправочный коэффициент условий работы грунта под пятой сваи, безразм.;

\bar{q}_c – среднее значение сопротивления грунта в пределах активной зоны у пяты сваи по данным статического зондирования, МПа;

A_b – площадь поперечного сечения ствола или пяты сваи в месте наибольшего ее уширения, м²;

k_f – поправочный коэффициент условий работы грунта вдоль боковой поверхности ствола сваи, безразм.;

f_p – среднее значение сопротивления грунта сдвигу вдоль боковой поверхности ствола сваи, МПа;

A_s – площадь боковой поверхности ствола сваи, м².

В случае наличия уширения вдоль стволов свай следует дополнительно учитывать доли сопротивления грунтов под их кольцевыми опорными поверхностями на соответствующих глубинах.

Поправочные коэффициенты k_c и k_f , согласно исследованиям автора, предлагается определять по следующим формулам:

$$k_c = \alpha \cdot \left(\frac{\bar{q}_c}{P_A} \right)^{-0,455}, \text{ и } k_f = \frac{A_o}{2A_s}, \quad (2)$$

где A_o – площадь боковой поверхности на единицу длины ствола сваи, м²;

A_s – площадь боковой поверхности ствола сваи, м²;

P_A – сопротивление грунта, $P_A = 1$ МПа;

α – коэффициент, учитывающий технологию погружения сваи, глубину ее погружения в несущий слой грунта с его мощностями в уплотненной зоне выше и ниже пяты свай, принимаем 1,9 для всех схем, кроме схемы II, для которой определяем его по табл. 1.

При назначении коэффициентов k_c и k_f используем следующие условия:

при $\bar{q}_c > 25$ МПа принимаем $\bar{q}_c = 25$ МПа;

при $\bar{f}_p > 0,125$ МПа принимаем $k_f = \frac{A_o}{A_s}$.

Среднее сопротивление грунта под конусом зонда в пределах уплотненной (активной) зоны у конца свай определяется по следующей формуле:

$$\bar{q}_c = \frac{1}{A+B} \int_{h-A}^{h+B} q_{ci}(h) \cdot dh, \quad (3)$$

где A – толщина i -го слоя грунта выше конца свай в пределах активной зоны, м;

B – толщина i -го слоя грунта ниже конца свай в пределах активной зоны, м;

q_{ci} – среднее значение удельного сопротивления i -го слоя грунта под наконечником зонда, МПа;

h – длина свай, м.

Пределы активных зон (A) и (B) определяются в соответствии со схемами расположения слоев грунта возле нижних концов свай. В рассматриваемом автором случае выделено пять видов схем.

Схема I (рис. 1) – расположение свай в однородном грунте. При этом толщина i -го слоя грунта выше ее пяты в пределах активной зоны принимает значение четырехкратного диаметра свай ($A = 4D$), а ниже пяты в пределах активной зоны равна одному диаметру свай.

Схема II (рис. 2) – неоднородные грунты, которые в конце свай имеют несущий слой песчаного грунта, причем под нижним концом ствола располагаются слои с большими значениями сопротивлений, а выше – с меньшими их значениями. В данной схеме A принимает значение l_1 , а B – l_2 . Расчет по схеме II осуществляется по трем вариантам, при этом значения l_1 и l_2 зависят от высоты погружения конца свай в несущий слой и от варианта схемы:

– **вариант 1** (рис. 2.1) – глубина погружения свай в несущий слой грунта не превышает восьми диаметров свай. В этом варианте толщины i -х слоев грунта выше и ниже конца свай в активной зоне одинаковы со значением $A = B = 1,5D$;

– **вариант 2** (рис. 2.2) – глубина погружения свай в несущий слой грунта превышает $8D$, а ее конец находится в слабо или средне уплотненных песках. При этом в пределах активной зоны толщина i -го слоя грунта выше конца свай составляет $A = 2D$, а ниже его – $B = 4D$. Однако в отличие от варианта 1 схемы II в данном случае

принимается измененное значение коэффициента α , который учитывает технологию погружения и диаметр свай (табл. 2);

– **вариант 3** (рис. 2.3) – глубина погружения сваи в несущий слой грунта превышает $8D$, а ее конец находится в сильно уплотненном песке. При этом в пределах активной зоны толщины i -х слоев грунта принимают значения выше конца свай $A = 1D$, а ниже его – $B = 2D$.

В целом для схемы II следует принимать значения l_1 , l_2 , α для разных глубин (высот) погружения в несущий слой грунта (h_d) при разных видах свай и диаметрах их стволов согласно табл. 1.

Таблица 1

Значение l_1 , l_2 , α для разных глубин погружения в несущий слой грунта (h_d) при разных видах свай и диаметрах их стволов

Глубина погружения конца сваи в несущий слой грунта	Вариант схемы II	l_1	l_2	α		
				набивные сваи		забивные сваи
				$D, м$		
				0,36	0,9	0,3
$h_d < 8D$	1	$1,5D$	$1,5D$	1,9	1,15	1,9
$h_d \geq 8D$	2	$2D$	$4D$	1,9	1,5	2,5
	3	$1D$	$2D$	1,5	1,5	2,5

Схема III (рис. 3) представляет собой особый случай схемы II, когда ниже конца сваи имеются слои грунта с большими значениями сопротивлений конуса, а выше залегают слои слабых грунтов (ил, торф и др.). По данной схеме в пределах активной зоны выше конца сваи толщины i -х слоев грунта принимают значения: в конце сваи толщины несущего слоя $A = S$ (S – толщина несущего грунта в конце сваи), а ниже ее конца в пределах активной зоны $B = 1D$. При этом пределы зоны (A) не охватывают несущий грунт.

Схема IV (рис. 4) применяется в неоднородном грунте, когда ниже конца сваи залегают грунты с меньшими, а выше – с большими значениями сопротивлений конуса. В этом случае толщины i -х слоев грунта в пределах активной зоны принимают значения: выше конца свай $A = 2D$, а ниже его – $B = 4D$.

Схема V (рис. 5) применяется в неоднородном грунте, когда ниже конца сваи залегают грунты с большими значениями сопротивления конуса, в то же время выше и ниже имеются слои грунта с меньшими значениями сопротивлений конуса. В этой схеме толщины i -х слоев грунта в пределах активной зоны выше и ниже конца свай принимают одинаковые значения, т.е. $A = B = 4D$.

Для определения сопротивления вдоль боковой поверхности ствола сваи используем следующую формулу:

$$f_p = \frac{\bar{q}_c}{k_s} \quad (4)$$

где k_s – эмпирический коэффициент, значение которого зависит от разновидности грунта вдоль сваи и технологии ее заглубления, определяется по табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициента k_s

Грунт	q_c , МПа	k_s			
		I		II	
		A	B	A	B
Глина (clay)	< 1,0	30	90	90	30
	1,0–5,0	40	80	40	80
	> 5,0	60	120	60	120
Пылеватый грунт (silt)	≤ 5,0	60	150	60	120
	> 5,0	60	120	60	120
Песок (sand)	< 5	60	150	60	120
	5,0–12,0	100	200	100	200
	> 12	150	300	150	200

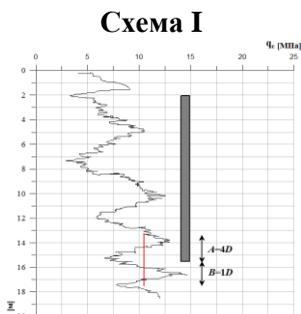


Рис. 1. Однородный грунт

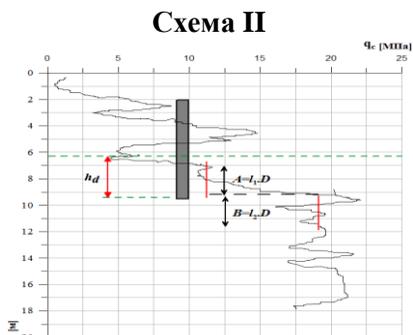


Рис. 2. Неоднородный грунт
 D – диаметр сваи;
 h_d – заглубленная часть сваи
 погружена в несущий слой

Варианты для схемы II

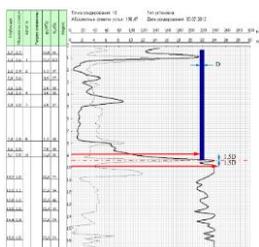


Рис.2.1. Неоднородный грунт

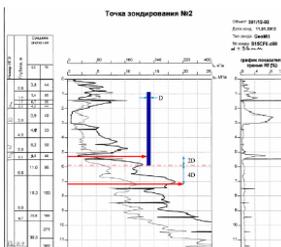


Рис. 2.2. Неоднородный грунт

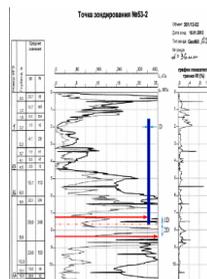


Рис. 2.3.
 Неоднородный грунт

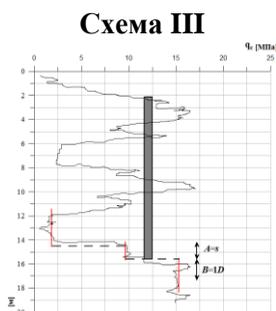


Рис. 3. Неоднородный грунт

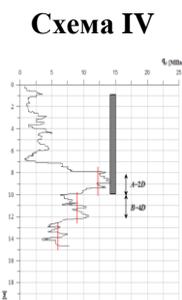


Рис. 4. Неоднородный грунт

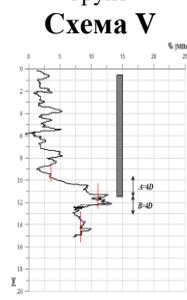


Рис. 5.
 Неоднородный грунт

Анализ результатов статического зондирования на объектах

Для оценки достоверности предложенного метода также проведен статистический анализ данных и сравнение с применяемой в Республике Беларусь методикой оценки несущей способности свай на базе статического зондирования. Согласно полученным результатам выяснилось, что практически в большинстве случаев несущие способности свай, определенные с использованием предлагаемой методики, находятся в пределах $\pm 20\%$ от линии абсолютной сходимости.

На базе такой обработки для набивных и забивных свай с диаметрами от 0,3 до 0,9 м получаем следующую расчетную формулу:

$$F_{ст.} = 1,08 F_{сз.} \quad (5)$$

где $F_{ст.}$ – несущая способность свай по результатам их испытаний статической нагрузкой, кН;

$F_{сз.}$ – прогнозируемая несущая способность свай по результатам статического зондирования, рассчитанная предлагаемым методом, кН.

Выводы

1. Усовершенствован метод расчета забивных и набивных свай по первой группе предельных состояний посредством использования экспериментально-обоснованных расчетных схем их оснований с уточненными активными зонами, учитывающими напряженно-деформируемое состояние, свойств и характеристик грунта, что позволяет, по сравнению с известными методиками, повысить точность расчетов оснований свай не менее чем на 10%.

2. Разработаны на основе выполненных экспериментально-теоретических исследований рекомендации расчета оснований свай по результатам статического зондирования для уточнения национальных норм (ТКП и национального приложения к ТКП EN Еврокод 7 (европейские нормы), обеспечивающие повышение качества и достоверности их проектирования в песчаных грунтах Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТКП 45-5.01-45-2006 (02250). Фундаменты и подземные сооружения, возводимые с использованием струйной технологии.

Правила проектирования и устройства. – Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2006. – 33 с.

2. Пособие П2-2000 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов. – Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2001. – 23 с.

3. Пособие П 4-2000 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование забивных свай. – Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2001. – 68 с.

4. Моради Сани, Б. Предварительная оценка несущей способности песчаных оснований одиночных свай по международным стандартам / Б. Моради Сани // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикл. науки. – 2015. – № 8. – С. 62–70.

5. Пособие П 4-2000 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование забивных свай. – Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2001. – 68 с.

6. Пособие П 13-01 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование и устройство буронабивных свай. – Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2002. – 43 с.

7. Пособие П 19-04 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование и устройство фундаментов из свай с уплотненным основанием. – Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2006. – 88 с.

8. Моради Сани, Б. Предварительная оценка несущей способности песчаных оснований одиночных свай по международным стандартам / Б. Моради Сани // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикл. науки. – 2015. – № 8. – С. 62–70.

9. Bustamane, M. Pile means of static penetrometer CPT / M. Bustamane, L. Gianeselli // Proceedings of the 2nd European Symposium on penetration testing/ ESOPTII. – Amsterdam, 1982. – P. 493–500.

10. Miller, A. Use of cone penetration test in pile design / A. Miller // Periodica Polytechnica SEB. Civ. Eng. – 2004. – Vol. 47, №. 2, – P.180–197.

11. Eurocode 7: Geotechnical Design – part 3: Design Assisted by Fieldtesting; 1997–2; 2007 (E). P. 118–119.