

Несущая способность забивной сваи различных форм поперечного сечения

Bearing capability of driven piles with different types of cross-section

к.т.н., доцент Булатов Георгий Яковлевич

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
bulatov.spbgpu@gmail.com
Санкт-Петербург
Российская Федерация

Ph. D, Associate Professor Georgiy Yakovlevich Bulatov

Saint-Petersburg State Polytechnical University
bulatov.spbgpu@gmail.com
Saint-Petersburg
Russian Federation

доцент Колосова Наталья Борисовна

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
nbkolosova@cef.spbstu.ru
Санкт-Петербург
Российская Федерация

Associate Professor Natalia Borisovna Kolosova

Saint-Petersburg State Polytechnical University
nbkolosova@cef.spbstu.ru
Saint-Petersburg
Russian Federation

студент Теплов Андрей Борисович

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
abteplov@mail.ru
Санкт-Петербург
Российская Федерация

Student Andrey Borisovich Teplov

Saint-Petersburg State Polytechnical University
abteplov@mail.ru
Saint-Petersburg
Russian Federation

Ключевые слова: свайные фундаменты, типы свай, поперечное сечение сваи, забивные сваи.

В статье опубликовано исследование влияния формы поперечного сечения на величину несущей способности сваи. Особое внимание уделено забивным сваям, ввиду их массового применения в строительстве. В результате исследования, выяснилось, что больший вклад в несущую способность сваи вносит составляющая, зависящая от наружного периметра поперечного сечения сваи.

Key words: pile foundation, types of piles, cross-section of pile, driven piles.

The research of influence of piles with cross section on the pile's load capacity is published in this article. Special attention to driven piles was payed, because they are very popular in building area. As a result, authors explored that constituent which depends on exterior perimeter of pile's cross-section is very important.

В современном строительстве в виду значительного увеличения объёмов многоэтажного строительства, расширения строительных территорий (часто в неблагоприятных грунтовых условиях) становится целесообразным и экономически выгодным устройство свайных фундаментов [12].

1. Введение

Важнейшим этапом при проектировании свайного фундамента является назначение типа свай не только по характеру их работы в грунте и способу заглубления, но, и по конструкции, и форме поперечного сечения.

Сегодня забивные сваи изготавливаются из различных строительных материалов и различной конструкции. Поперечное сечение таких свай также может быть различной конфигурации – от простых форм (круглое, квадратное) до сложных сечений (тавровое, двутавровое и др.) [14].

Учитывая, что силы трения боковой поверхности оказывают значительное влияние на несущую способность сваи, можно предположить, что форма поперечного сечения сваи также имеет существенное значение при определении величины несущей способности. А изменение формы поперечного сечения сваи, при сохранении величины несущей способности может существенно изменить материалоемкость сваи.

К большому сожалению, в литературных источниках, описывающих определение несущей способности сваи, не уделено, по нашему мнению, должного внимания форме поперечного сечения сваи. В основном авторами описываются исследования несущей способности при вертикальных нагрузках в зависимости от материала сваи [2, 4-6, 10, 13, 14, 24 - 32], глубины погружения [2, 3, 5, 6, 10, 14, 23] и физико-механических свойств грунтов [1, 2, 6, 11, 14, 25, 26]. В ряде работ показана зависимость несущей способности сваи от жёсткости поперечного сечения при горизонтальных нагрузках [7 - 9, 15], а вопросы, связанные непосредственно с расчётом несущей способности сваи в зависимости от формы поперечного сечения отражены лишь в работе Калачук Т.Г. [11].

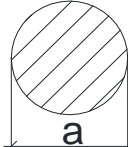

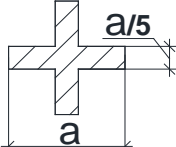
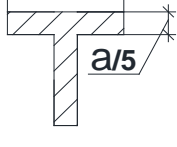
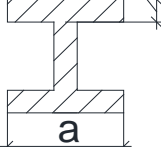
В результате анализа приведённой литературы, по нашему мнению, возникает необходимость дальнейшего исследования взаимосвязи несущей способности сваи с формой её поперечного сечения. В данной статье предпринята попытка такого исследования в однородных грунтовых условиях (в качестве грунта рассматривается песчаный грунт).

Для изучения были выбраны пять форм поперечного сечения свай:

- круглое (I),
- квадратное (II),
- крестообразное (III),
- тавровое (IV),
- двутавровое (V).

При расчётах несущей способности была принята одинаковая длина сваи для всех типов сечения - 10 метров и одинаковые габариты «а» по ширине и высоте поперечного сечения сваи (таблица 1).

Таблица 1. Типы поперечных сечений

I	II	III	IV	V
				

Для всех типов сечений определены их геометрические характеристики – наружный периметр сечения «U» и площадь опирания сваи на грунт «А» (принимается по площади поперечного сечения брутто или по наибольшему диаметру); параметр «а» принят равным 0,4 метра. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Геометрические характеристики свай

Номер сечения	I	II	III	IV	V
Характеристики					
U, м	1,257	1,6	1,6	1,6	2,24
A, м ²	0,126	0,16	0,058	0,058	0,083

Несущая способность сваи определялась по методике, описанной в нормативных документах [16-20], и вычислялась по формулам:

$$F_d = \gamma_c \cdot (F_{df} + F_{dR}) \quad (1)$$

где γ_{cR} - коэффициент условий работы сваи в грунте принимаем равный 1;

F_{df} - несущая способность на боковой поверхности сваи,

F_{dR} - несущая способность под концом сваи.

В свою очередь,

$$F_{df} = u \sum \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i \quad (2)$$

$$F_{dr} = \gamma_{cR} \cdot R \cdot A \quad (3)$$

где γ_{cR} , γ_{cf} – коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения свай на расчётные сопротивления грунта;

u – наружный периметр поперечного сечения сваи, м;

f_i – расчётное сопротивление i -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, принимаемое по СНиП 2.02.03-85 таблица 2, кПа;

h_i – мощность i -го слоя грунта основания, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;

R – расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи, принимаемое по СНиП 2.02.03-8 таблица 1, кПа;

A – площадь опирания сваи на грунт, принимается по площади поперечного сечения брутто или по наибольшему диаметру, м².

2. Расчеты

Таблица 3. Расчет круглого сечения I

Круглое сечение (I)												
N расч. слоя	h_i , м	ОПС, м	$h_{погр}$, м	$h_{срi}$, м	ИГЭ	f_i , кН/м ²	$f_i \cdot h_i$, кН/м ²	$\Sigma f_i \cdot h_i$	R_i , кПа	F_{df} , кН	F_{dR} , кН	F_d , кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	-3	2	1	песок	29,9	59,8	59,8	1900	75,2	239,4	314,6
2	2	-5	4	3	песок	45,5	91	150,8	2100	189,6	264,6	454,2
3	2	-7	6	5	песок	52	104	254,8	2300	320,3	289,8	610,1
4	2	-9	8	7	песок	55,9	111,8	366,6	2540	460,8	320,0	780,9
5	2	-11	10	9	песок	58,5	117	483,6	2600	607,9	327,6	935,5

Таблица 4. Расчет квадратного сечения II

Квадратное сечение (II)												
N расч. слоя	h_i , м	ОПС, м	$h_{погр}$, м	$h_{срi}$, м	ИГЭ	f_i , кН/м ²	$f_i \cdot h_i$, кН/м ²	$\Sigma f_i \cdot h_i$	R_i , кПа	F_{df} , кН	F_{dR} , кН	F_d , кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	-3	2	1	песок	29,9	59,8	59,8	1900	83,7	233,7	317,4
2	2	-5	4	3	песок	45,5	91	150,8	2100	211,1	258,3	469,4
3	2	-7	6	5	песок	52	104	254,8	2300	356,7	282,9	639,6
4	2	-9	8	7	песок	55,9	111,8	366,6	2540	513,2	312,4	825,7
5	2	-11	10	9	песок	58,5	117	483,6	2600	677,0	319,8	996,8

Таблица 5. Расчет крестообразного сечения III

Крестообразное сечение (III)												
N расч. слоя	h_i , м	ОПС, м	$h_{пор}$, м	$h_{срi}$, м	ИГЭ	f_i , кН/м ²	$f_i * h_i^2$, кН/м ²	$\Sigma f_i * h_i$	R_i , кПа	F_{df} , кН	F_{dR} , кН	F_d , кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	-3	2	1	песок	29,9	59,8	59,8	1900	95,7	110,2	205,9
2	2	-5	4	3	песок	45,5	91	150,8	2100	241,3	121,8	363,1
3	2	-7	6	5	песок	52	104	254,8	2300	407,7	133,4	541,1
4	2	-9	8	7	песок	55,9	111,8	366,6	2540	586,6	147,3	733,9
5	2	-11	10	9	песок	58,5	117	483,6	2600	773,8	150,8	924,6

Таблица 6. Расчет таврового сечения IV

Тавровое сечение (IV)												
N расч. слоя	h_i , м	ОПС, м	$h_{пор}$, м	$h_{срi}$, м	ИГЭ	f_i , кН/м ²	$f_i * h_i^2$, кН/м ²	$\Sigma f_i * h_i$	R_i , кПа	F_{df} , кН	F_{dR} , кН	F_d , кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	-3	2	1	песок	29,9	59,8	59,8	1900	95,7	110,2	205,9
2	2	-5	4	3	песок	45,5	91	150,8	2100	241,3	121,8	363,1
3	2	-7	6	5	песок	52	104	254,8	2300	407,7	133,4	541,1
4	2	-9	8	7	песок	55,9	111,8	366,6	2540	586,6	147,3	733,9
5	2	-11	10	9	песок	58,5	117	483,6	2600	773,8	150,8	924,6

Таблица 7. Расчет двутаврового сечения V

Двутавровое сечение (V)												
N расч. слоя	h_i , м	ОПС, м	$h_{пор}$, м	$h_{срi}$, м	ИГЭ	f_i , кН/м ²	$f_i * h_i^2$, кН/м ²	$\Sigma f_i * h_i$	R_i , кПа	F_{df} , кН	F_{dR} , кН	F_d , кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	-3	2	1	песок	29,9	59,8	59,8	1900	134,0	157,7	291,7
2	2	-5	4	3	песок	45,5	91	150,8	2100	337,8	174,3	512,1
3	2	-7	6	5	песок	52	104	254,8	2300	570,8	190,9	761,7
4	2	-9	8	7	песок	55,9	111,8	366,6	2540	821,2	210,8	1032,0
5	2	-11	10	9	песок	58,5	117	483,6	2600	1083,3	215,8	1299,1

По полученным результатам были построены зависимости значений несущей способности сваи от формы поперечного сечения, которые представлены на графике 1.

Из графика видно, что свая квадратного поперечного сечения «II» имеет максимальную площадь и среднее значение наружного периметра, однако суммарное значение несущей способности такой сваи существенно меньше, чем у сваи с двутавровым поперечным сечением «V», имеющего незначительную площадь поперечного сечения, но максимальный периметр.

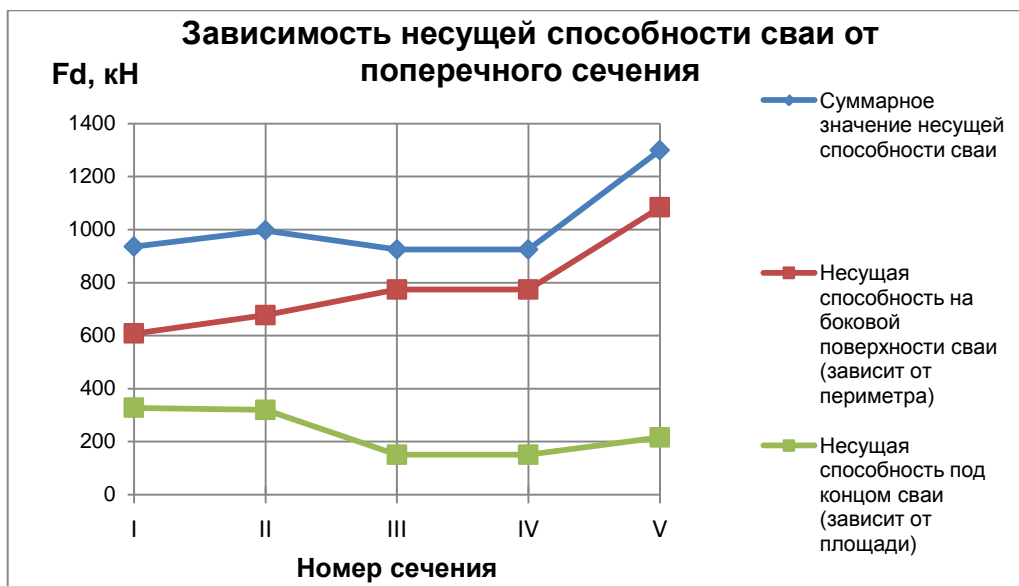


График 1. Зависимость несущей способности сваи от формы поперечного сечения

3. Выводы

1. Максимальное значение несущей способности соответствует свае с двутавровой формой поперечного сечения.
2. Наибольший вклад в значение несущей способности сваи вносит составляющая, зависящая от наружного периметра поперечного сечения сваи, а не от её площади.
3. Учитывая, что периметр поперечного сечения сваи представляет собой не что иное, как боковую поверхность сваи, сопрягающуюся с грунтовой поверхностью, значение несущей способности достигает наибольших величин у сваи с расширенной боковой поверхностью.
4. Применяя сваи с расширенной боковой поверхностью, возможно значительно снизить материалоемкость сваи не только за счёт уменьшения площади поперечного сечения, но и за счёт длины сваи.

В заключении считаем необходимым отметить, что для подтверждения полученных результатов было бы целесообразно проведение натурных испытаний. Однако при этом следует иметь в виду, что при выборе сваебойного оборудования для забивки свай необходимо учесть ряд факторов (критериев), позволяющих сделать такой выбор оптимальным [3, 21, 22].

Литература

1. Баданин А. Н., Колосов Е. С. Определение несущей способности армированного георешеткой грунтового основания // Инженерно-строительный журнал. 2012. Т. 30. № 4. С. 25-32.
2. Бахолдин Б. В., Игонькин Н. Т. К вопросу о сопротивлении грунта по боковой поверхности сваи // Труды НИИОСП, №58 (Основания, фундаменты и подземные сооружения). М.: Изд-во НИИОСП, 1968. С. 9-13.
3. Булатов Г. Я., Колосова Н. Б. Критерии выбора вибропогружателя. Инженерно-строительный журнал. 2011. №1. С. 32-39.
4. Булатов Г. Я., Костюкова А. Ю. Новая технология - «фундамент на трубогрунте» // Инженерно-строительный журнал. 2008. № 2. С. 32-37.
5. Вертынский О. С. Определение несущей способности набивных конических свай // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. Т. 4. №1. С. 78-82.
6. Голубков В. Н. Несущая способность свайных оснований. М.: Машстройиздат, 1950. С. 77-143.
7. Гуткин Ю. М. Определение коэффициента постели свайного основания подкрановых балок // Транспортное строительство. 1981. № 2. С. 49.
8. Знаменский В. В. Инженерный метод расчёта несущей способности горизонтально нагруженных групп свай // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2000. № 2. С. 7-11.

9. Знаменский В. В., Ухов С. Б., Семенов В. В. Причины возникновения и прогноз развития неравномерных осадок основания Государственного Исторического музея // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2001. №4. С. 5 – 10.
10. Дедков В. И., Михальчук П. А.,. Особенности взаимодействия бетона свай после забивки с агрессивной средой // Труды института «Исследование прогрессивных конструкций свайных фундаментов». Уфа: Изд-во: НИИпром-строй. 1989. С. 117-127.
11. Калачук Т. Г. Модульные сваи таврового сечения и составные на их основе в глинистых грунтах. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. Спец: 05. 23. 02. Белгород, 2004. 136 с.
12. Колосова Н. Б. Проблемы современного бетона и железобетона // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8. С. 4.
13. Ножнов А. П., Булатов Г. Я. Численное моделирование влияния грунтового ядра на несущую способность трубосвай // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2. С. 27-35.
14. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений. Учебное пособие / Под ред. Далматова Б. И. С-Пб.: Изд-во АСВ, 2006. 428 с.
15. Сафонов А. П. Несущая способность свай в глинистых грунтах при действии горизонтальной нагрузки: Дисс. на соиск. уч. степ. к. т. н.: Спец. 05. 23. 02. Свердловск, 1984. 167 с.
16. ГОСТ 27751—88 Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчёту.
17. СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты.
18. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
19. СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.
20. СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов.
21. Tsinker, G. P. Port engineering: planning, construction, maintenance and security. New Jersey: Harbors. Design and Construction, 2004. 881 p.
22. Cyna H. FOREVER (FOndation REnforcees VERTicalement). Synthèse des résultats et recommandation du Projet national sur les MICROPIEUX. Paris.: Ponts et chaussées, 2004. 347 p.
23. Philipponnat G., Hubert B. Fondation et ouvrages en terre. Paris.: Eyrolles, 2008. 548 p.
24. Schaffner A. I. Ein rheologisches Modell zur Auswertung von Pfahprobelergebnissen // Bauhenik.- Ausgabe 1996. B.h.4. 97 p.
25. Van Impe W.F. Deformations of deep foundation // General Report X.ECSMFE. Florence, 1991. Pp. 2638-2640.
26. Van Impe W.F. Developments in pile design // DFI. Conference. Stressa, 1991. Pp. 2217-2234.
27. Rajapakse R. 6 – Pile Design: Special Situations // Pile Design and Construction Rules of Thumb. 2008. Pp. 99–139.
28. Rajapakse R. 5 – Pile Design in Clay Soils // Pile Design and Construction Rules of Thumb. 2008. Pp. 75–98.
29. Rajapakse R. 4 – Pile Design in Sandy Soils // Pile Design and Construction Rules of Thumb. 2008. Pp. 41, 43–73.
30. Rajapakse R. 26 – Pile Load Tests // Pile Design and Construction Rules of Thumb. 2008. Pp 389–393.
31. Rajapakse R. 20 – Pile Design Software // Pile Design and Construction Rules of Thumb. 2008. Pp 337–342.
32. Rajapakse R. 2 – Pile Types // Pile Design and Construction Rules of Thumb. 2008. Pp 15–35.