
Инженерный анализ расчетных характеристик несущей способности забивных и буронабивных свай

С.К. Хлебников, И.М. Юдина, А.В. Тихонова, Д.А. Федорова

Московский государственный строительный университет, Москва

Аннотация: В статье приводятся результаты сравнительного анализа практических расчетов забивной и буронабивной свай, имеющих близкие геометрические параметры и единые геологические условия участков строительства. Учитывая особенности применения этих свай и имеющиеся экспериментальные данные, в работе анализируются расчетные значения их несущей способности и дается инженерная оценка полученным результатам расчета. Количественная разница определяемых параметров несущей способности свай – трения по боковой поверхности и лобового сопротивления, наглядно представлена на построенных диаграммах. Так, при использовании нормативных значений коэффициентов для определения несущей способности свай, имеем значительное превышение этого параметра у забивных свай. Необходимость применения более щадящих способов погружения свай на проектную глубину, приводит к возможности использования технологии устройства буронабивных свай, которые имеют меньшую несущую способность при тех же параметрах, что и забивные сваи. Эту особенность следует учитывать в инженерных расчетах при подборе оптимальных размеров буронабивных свай.

Ключевые слова: Сваи забивные, сваи буронабивные, геологические условия, инженерные расчеты, несущая способность.

В условиях плотной городской застройки и при строительстве тяжелых сооружений с развитой подземной частью все большую популярность приобретают буронабивные сваи, имеющие ряд существенных преимуществ перед забивными сваями [1,2]. Буронабивные сваи могут применяться в сложных городских условиях, когда невозможно устройство забивных свай с динамическим методом их погружения на проектную глубину [3,4]. Важнейшим фактором популярности этих свай является неограниченная глубина заложения и отсутствие верхней, не погружаемой части свай, что свойственно технологии забивных свай [5,6]. Тем не менее, забивные сваи качественно являются более надежными, поскольку изготавливаются на заводах с отработанной технологией их изготовления [7,8]. Учитывая

перечисленные особенности буронабивных и забивных свай, большой опыт их применения, данные мониторинга, были составлены специальные нормативные таблицы для определения основного параметра свай - несущей способности [9]. От этой характеристики зависит оптимальное конструирование свайных фундаментов [10], поэтому инженерные методы расчета несущей способности свай требуют дополнительного изучения и анализа полученных результатов.

Целью данных исследований является анализ основных расчетных характеристик забивной и буронабивной свай, применяемых на площадках с одинаковыми геологическими условиями и равными геометрическими параметрами (длина, площадь поперечного сечения) этих свай. Теоретические исследования и экспериментальные данные в этой области позволили выработать механизм оценки основной характеристики свай – несущей способности, определяемой на основе применения нормативных коэффициентов для расчетов лобового сопротивления и трения по боковой поверхности свай, принципиально отличающихся по способу погружения.

Для анализа расчетных данных по несущей способности забивных свай, с площадью поперечного сечения $S=0,3 \times 0,3 \text{ м}$ и буронабивных свай ($\varnothing=0,35 \text{ м}$) разной длины от 4 м до 20 м, были выполнены инженерные расчеты для различных вариантов геологических разрезов. С целью визуализации данных расчетов, выбраны четыре из них (рис. 1), отличающихся количеством геологических элементов и, соответственно, типом грунта, в который погружен нижний конец свай (рис. 1). В верхней части разрезов отметка свай совпадает с планировочной отметкой.

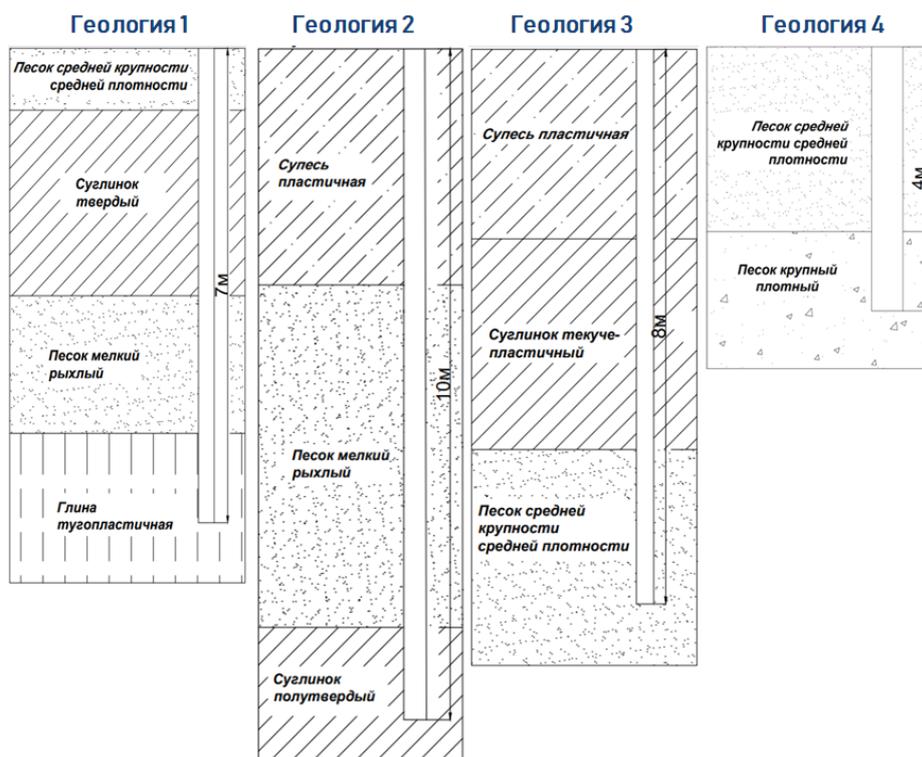


Рис. 1. - Выборка колонок для четырех вариантов геологических разрезов

Расчет несущей способности висячих забивных свай выполнен согласно нормативным документам по формуле (1):

$$F_d = \gamma_c \left(\gamma_{R,R} RA + u \sum \gamma_{R,f} f_i h_i \right) \quad (1)$$

R - расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа.,

A – площадь поперечного сечения сваи, м².

u – наружный периметр поперечного сечения сваи.

f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта по боковой поверхности сваи, кПа,

h_i – толщина i -го слоя грунта, в пределах призматической части сваи, м.

Методика расчета буронабивной сваи схожа с расчетом забивной сваи, однако имеет ряд характерных особенностей, связанных с применением коэффициентов, входящих в формулу (1).

В качестве примера, представлены табличные данные для определения несущей способности и сравнения расчетных параметров и коэффициентов забивной и буронабивной свай длиной 10 метров для второго варианта геологии (табл.1).

Таблица № 1

Параметры	Значения для забивной свай	Значения для буронабивной свай
γ_c	1	0,8-1
R	4510 кПа (табл. 6.6 [9])	1201 кПа (по табл. 6.14 [9])
A	практически равны для принятых размеров свай (0,09 и 0,096)	
u	практически равны для принятых размеров свай (1,2 и 1,1)	
$\gamma_{R,f}$	1 (табл. 6.8 [9])	0,6 (табл. 6.8 [9])
$\gamma_{R,R}$	1 (табл. 6.8 [9])	1 (кроме свай с ушир.) (табл. 6.8 [9])
f_i	табл. 6.7 [9]	
h_i	равны для данных геологических условий	
F_d	789 кН	391 кН

Коэффициенты в формуле (1):

○ γ_c – коэффициент условий работы свай. Для буронабивной свай коэффициент может принимать значения 0,8 и 1, например, в лессовых просадочных грунтах $\gamma_c = 0,8$. Для забивной свай данный коэффициент всегда принимается равным единице.

○ $\gamma_{R,R}$ – коэффициент условий работы грунта под нижним концом свай. Для буронабивной свай $\gamma_{R,R}$ зависит от вида свай и способа бетонирования, для забивной – от способа погружения свай на проектную глубину.

○ $\gamma_{R,f}$ – коэффициент условий работы грунта по боковой поверхности свай. Для забивной свай $\gamma_{R,f}$ зависит от способа погружения свай и определяется по той же таблице, что $\gamma_{R,R}$ (табл. 6.8 [9]). Для

буронабивной сваи $\gamma_{R,f}$ зависит от способа образования скважины и условий бетонирования (табл. 6.8 [9]). Например, в случае применения виброуплотнителей при бетонировании свай (что существенно увеличивает трение по боковой поверхности сваи), коэффициент повышается с 0,6 до 0,9.

Наибольший процент расхождения по результатам расчета получаем из-за существенной разницы в табличных значениях расчетного сопротивления R под нижним концом свай. Это связано с задержками при бетонировании буронабивных свай, оставлением шлама в забое и т.д. Диаграммы зависимости R от показателя текучести I_L глинистого грунта представлены на рис. 2.

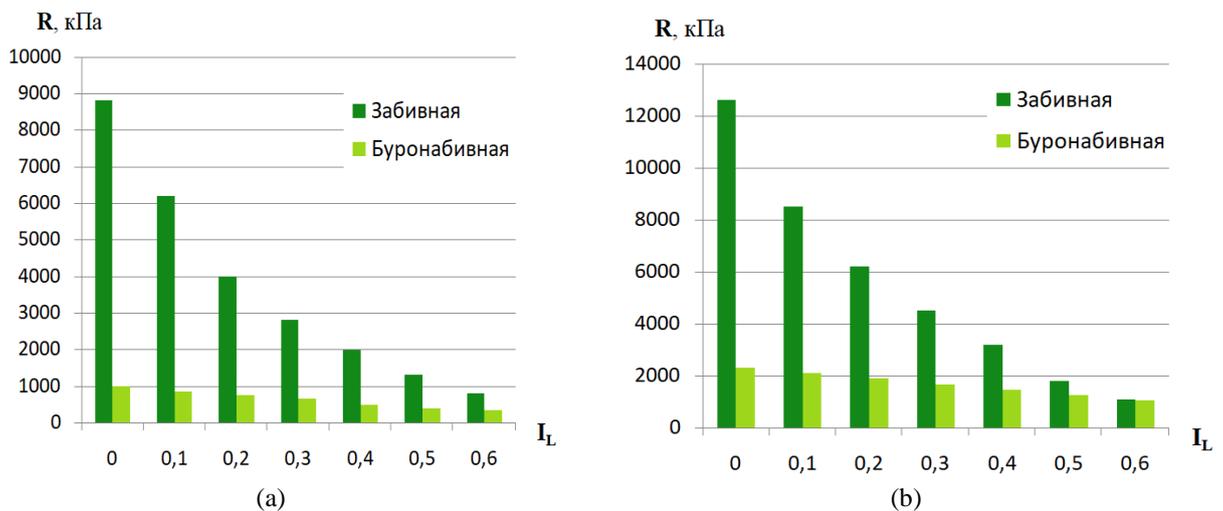


Рис. 2. - Диаграммы зависимости R под нижним концом забивной и буронабивной свай от показателя текучести I_L глинистого грунта, а) при $h=5$ м, б) при $h=20$

Если в основании буронабивной сваи залегает песчаный грунт, то лобовое сопротивление грунта определяется по формуле:

$$R = 0,75\alpha_4(\alpha_1\gamma'_1d + \alpha_2\alpha_3\gamma_Ih), \quad (2)$$

где - $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – безразмерные коэффициенты, принимаемые по табл. 6.13 [9] в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения песчаных грунтов.

d – диаметр сваи, м.

h – глубина заложения нижнего конца сваи, м.

γ'_I – расчетное значение удельного веса грунта в основании сваи.

γ_I – осредненное (по слоям) расчетное значение удельного веса грунтов, расположенных выше нижнего конца сваи.

Вариации значений коэффициентов и размеров свай имеют широкий диапазон, поэтому определение расчетного сопротивления R для песчаных грунтов в нормативных документах представлено для буронабивных свай в виде аналитической зависимости (2). Для глинистых грунтов используется табличные данные, в которых параметр R зависит от показателя текучести I_L и глубины погружения нижнего конца сваи.

Для анализа статистических данных по расчетам несущей способности свай, различающихся по способу погружения и имеющих разную длину были проведены многочисленные расчеты для разных вариантов геологий (выборка из 4 колонок представлена на рис.1). Результаты проанализированы и для наглядности представлены в виде диаграммы (рис.3).

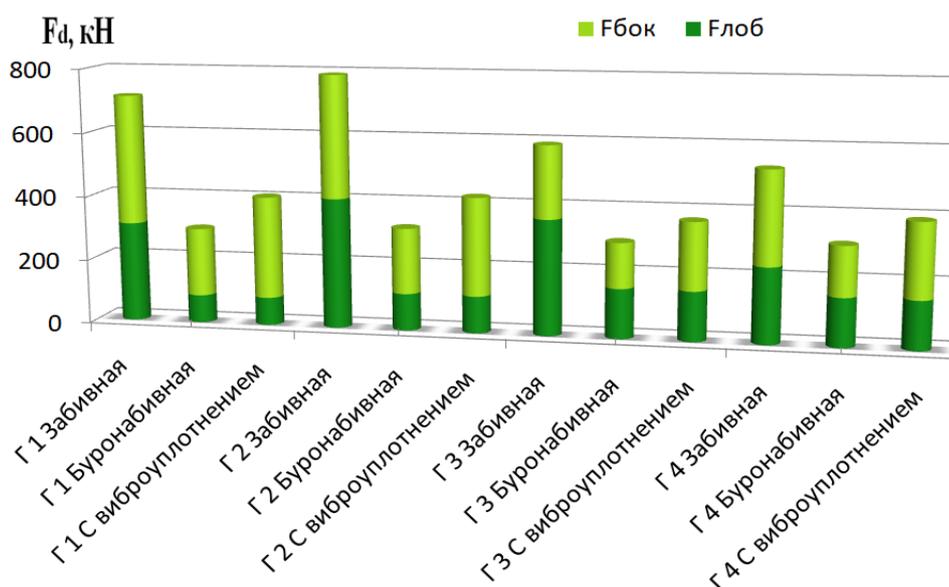


Рис. 3. - Диаграмма изменения несущей способности забивных и буронабивных свай в зависимости от геологических условий.

На диаграмме несущая способность забивных и буронабивных свай представлена в виде двух составляющих – лобового сопротивления и трения по боковой поверхности свай. Добавлены варианты для буронабивных свай, бетонируемых с использованием виброуплотнителя.

На основании выполненных расчетов, можно сделать вывод, что несущая способность буронабивных свай ниже, чем у забивных в 1,5-2,6 раза в зависимости от геологических условий площадки строительства. Использование виброуплотнителя при бетонировании свай уменьшает это соотношение в 1,3-1,8 раз. Наибольшее влияние на снижение несущей способности буронабивной сваи относительно забивной оказывает значение лобового сопротивления сваи, причем, в большей степени такая тенденция прослеживается для глинистых грунтов в основании сваи с малым показателем текучести.

Литература

1. Мангушев Р.А., Готман А.Л., Знаменский В.В., Пономарев А.Б. Сваи и свайные фундаменты. Конструкции, проектирование и технологии. М.: Издательство АСВ, 2010. 240 с.
2. Maertens J., Nuybrechts N. Belgian screw pile technology: design and recent development. Lisse: Swets & Zeitlinger, 2003. pp. 67-126.
3. Мангушев Р.А., Ершов Д.В., Осокин А.И. Современные свайные технологии. М.: Издательство АСВ, 2018. 320 с.
4. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. О необходимости проведения комплексного мониторинга подземных объектов на различных стадиях жизненного цикла // Инженерный вестник Дона, 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1994.



5. Колобов А.В., Бычковский Б.И. Методическое пособие по устройству ограждений из буронабивных свай. М.: ПКТИПромстрой, 2001. 67с.
6. Железняков В.А., Александров А.П., Куликов А.С. Увеличение несущей способности буронабивной сваи методом силикатизации // Инженерный вестник Дона, 2020, №11 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6686.
7. Готман А.Л. Технология устройства свай и свайных фундаментов. Учеб. пособие. Пермь.: Пермский гос. техн. ун-т, 2005. 85 с.
8. Шадунц К.Ш. О взаимодействии боковой поверхности свай с окружающим их грунтом основания // Научный журнал КубГАУ, 2006, №03(019). С. 27 – 36. URL: ej.kubagro.ru/2006/03/.
9. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения // Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. М.: Издательство АСВ, 2016. 1040 с.
10. Adejumo, T. W. Effects of Shape and Technology of Installation on the Bearing Capacity of Pile Foundations in Layered Soil. Sch. J. Eng. Tech. 3(2A), 2015. pp. 104-111.

References

1. Mangushev R.A., Gotman A.L., Znamenskiy V.V., Ponomarev A.B. Svai i svaynyye fundamenty. Konstruktsii, proyektirovaniye i tekhnologii [Piles and pile foundations. Structures, design and technology]. М.: Izdatel'stvo ASV, 2010. 240 p.
 2. Maertens J., Nuybrechts N. Lisse: Swets & Zeitlinger, 2003. pp. 67-126.
-



3. Mangushev R.A., Ershov D.V., Osokin A.I. Sovremennyye svaynyye tekhnologii [Modern pile technologies]. M.: Izdatel'stvo ASV, 2018. 320 p.
4. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armeyskov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1994.
5. Kolobov A.V., Bychkovsky B.I. Metodicheskoye posobiye po ustroystvu ograzhdeniy iz buronabivnykh svay [Methodical manual on the construction of fences from bored piles]. M.: PKTIpromstroy, 2001. 67 p.
6. Zheleznyakov V.A., Aleksandrov A.P., Kulikov A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6686.
7. Gotman A.L. Tekhnologiya ustroystva svay i svaynykh fundamentov. [Technology of piles and pile foundations]. Perm'. Perm. gos. tekhn. un-t, 2005. 85 p.
8. Shadunts K.Sh. KubGAU Scientific Journal, 2006, No.03(019). pp. 27-36. URL: ej.kubagro.ru/2006/03/.
9. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya [Geotechnical Reference. Baze, foundations and underground structures]. Pod obshchey red. V.A. Il'icheva i R.A. Mangusheva. M.: Izdatel'stvo ASV, 2016, 1040p.
10. Adejumo, T. W. Sch. J. Eng. Tech. 3(2A), 2015. pp. 104-111.