

## Обобщение расчетов несущей способности свай по грунту

Г.Я. Булатов<sup>1</sup>, Е.И. Лысякова<sup>2</sup>, М.А. Корневская<sup>3</sup>

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

### Информация о статье

УДК 624.131.524.4

Техническая статья

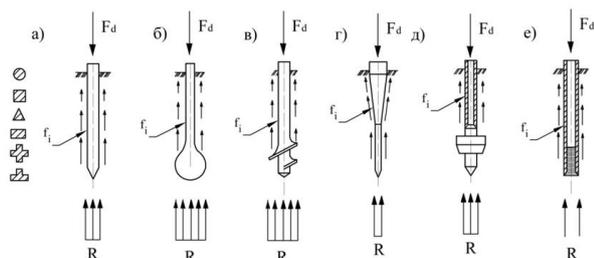
### История

Подана в редакцию 17 мая 2014  
Принята 29 мая 2014

### Ключевые слова

несущая способность свай,  
сваи,  
типы свай,  
свайный фундамент,  
расчет несущей способности свай.

### АННОТАЦИЯ



В настоящей статье рассматриваются различные формулы, описывающие расчет несущей способности свай. Подавляющее большинство построек сегодня – от пригородных домов до многоэтажных зданий – используют различные виды свайных фундаментов.

Существует широкая практика применения и расчета несущей способности основных видов свай, таких как пирамидальная, винтовая, трубчатая и т.д. Поэтому особенно актуальной становится разработка универсальных способов расчета и верификации результатов, которая должна основываться на

понимании физико-механических основ процесса. На основе анализа литературы по теме и сложившейся практики применения формул расчета несущей способности свай предлагается обобщающая формула, описывающая несущую способность свай любого типа. Формула может применяться на этапе создания различных строительных проектов, а также при разработке прикладных инженерных программ.

### Содержание

Введение	121
Обзор литературы	121
Описание объекта исследования	121
Постановка цели	121
Предложение собственного решения задачи	121
Выводы	124

3

Контактный автор:

+7 (911) 101 6565, [marishka.korenevskaya@gmail.com](mailto:marishka.korenevskaya@gmail.com) (Корневская Марина Анатольевна, студент)

2

+7 (921) 870 4750, [LKate26@mail.ru](mailto:LKate26@mail.ru) (Лысякова Екатерина Игоревна, бакалавр)

1

+7 (812) 297 5949, [gybulatov@mail.ru](mailto:gybulatov@mail.ru) (Булатов Георгий Яковлевич, к.т.н., доцент)

## Введение

В настоящее время известны десятки видов свай, которые различаются по форме, по материалу и по принципу работы [1]. Каждая из них требует методики расчета ее несущей способности. Например, если к свае-стойке приложить слишком большую нагрузку, то она может не выдержать и сломаться, а если приложить ту же самую нагрузку к свае трения, то она начнет давать чрезмерную осадку, т.е. ее несущая способность будет недостаточной: в первом случае – по материалу, а во втором – по грунту. Таким образом, несущая способность есть критическая предельная или разрушающая нагрузка на сваю. Расчетная (максимальная безопасная или допустимая) нагрузка будет равна несущей способности, деленной на коэффициент запаса (или надежности). При этом эксплуатационная нагрузка на сваю должна быть менее или равна допустимой. Поэтому основной задачей при проектировании свайного фундамента являются расчеты несущей способности сваи (НСС) по грунту.

## Обзор литературы

Анализ формул для расчета несущей способности свай, представленных в [1–18], показал, что действительно есть возможность их обобщения, сокращения математической записи, чему и уделено в статье основное внимание. В существующей литературе подобных попыток обобщения расчетов несущей способности свай авторами не обнаружено.

Наиболее близкой здесь следует отметить работу [6], в которой приведены расчеты несущей способности висячей призматической сваи с учетом динамических воздействий.

## Описание объекта исследования

Данная работа посвящена расчетам несущей способности основных видов свай по грунту на осевую вдавливающую нагрузку. Принципиальные расчетные схемы этих свай представлены на рисунке 1.

## Постановка цели

Целью работы является обобщение расчетных зависимостей несущей способности для основных видов свай.

## Предложение собственного решения задачи

В статье в качестве исходной принята формула из [1] для призматической висячей сваи и сваи-оболочки (погружаемой без выемки грунта), работающих на сжимающую нагрузку,

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

где

$F_d$  – НСС сваи, кН;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы сваи в грунте;

$\gamma_{cR}$  – коэффициент условий работы грунта под нижним концом сваи, учитывающий влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта;

$R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа;

$A$  – площадь опирания на грунт сваи, м<sup>2</sup>;

$u$  – наружный периметр поперечного сечения ствола сваи, м;

$\gamma_{cf}$  – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности сваи, учитывающий влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта;

$f_i$  – расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта на боковой поверхности ствола сваи, кПа;

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м.

Авторы, в соответствии с обозначениями рисунке 1, представляют обобщенную формулу несущей способности свай в следующем виде

$$F_d = F_{dR} + F_{df} + F_{dip} + F_{d\alpha}, \quad (2)$$

где

$F_{dR}$  – НСС на острие сваи и на упорных площадках уширений;

$F_{df}$  – НСС на боковых поверхностях сваи, параллельных ее продольной оси;

$F_{dip}$  – НСС на боковых поверхностях, имеющих наклон к оси сваи;

$F_{d\alpha}$  – НСС на подошве грунтового ядра, заполняющего полость трубчатой сваи при ее погружении.

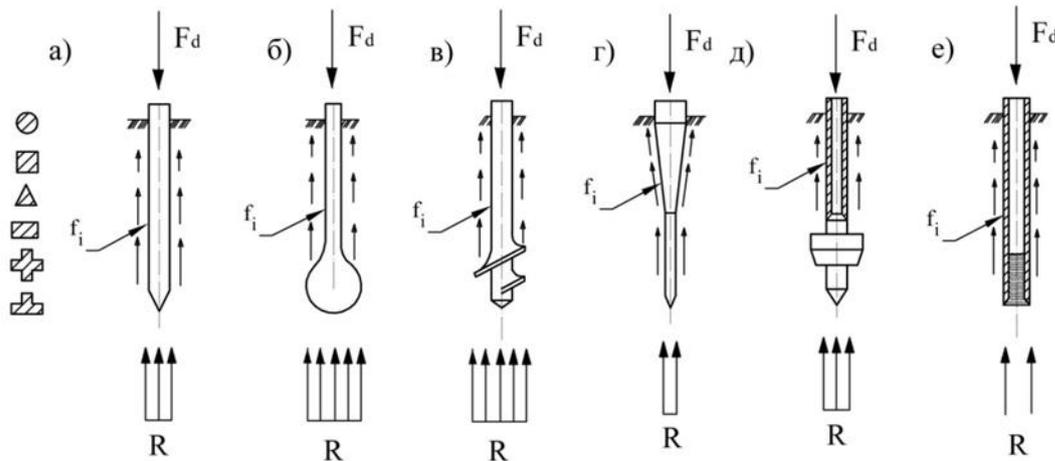


Рисунок 1. Расчетные схемы свай:

а) призматическая; б) с камуфлетным уширением; в) винтовая; г) пирамидальная; д) с серединным уширением; е) трубчатая свая (свая оболочка, т.е. труба с открытым нижним концом).

Несущую способность на острие сваи представим в виде:

$$F_{dR} = \sum \gamma_c \gamma_{CR} R_j A_j \eta_{Rj} \quad (3)$$

где

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы сваи в грунте;

$\gamma_{CR}$  – коэффициент условий работы грунта под нижним концом сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта и упорных поверхностях ее уширений;

$R_j$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи и упорных поверхностях ее уширений;

$\eta_{Rj}$  – коэффициент использования расчетного сопротивления  $R_j$ ;

$A_j$  – площадь опирания на грунт сваи, принимаемая по площади поперечного сечения сваи брутто или по площади поперечного сечения камуфлетного уширения по его наибольшему диаметру, или по площади сваи-оболочки нетто, и по площади подошвы уширений, включая винтовые лопасти.

Несущую способность на боковой призматической и цилиндрической поверхности сваи представим в виде:

$$F_{dR} = \sum \gamma_c \gamma_{CR} R_j A_j \eta_{Rj} \quad (4)$$

где

$\gamma_{cf}$  – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности сваи, учитывающий влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта;

$u_i$  – наружный периметр  $i$ -го сечения сваи;

$f_i$  – расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи;

$\eta_{fi}$  – коэффициент, использования расчетного сопротивления  $f_i$ ;

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи.

Несущую способность на наклонных поверхностях пирамидальных и трапецеидальных свай представим в виде:

$$F_{dip} = \sum \gamma_c \gamma_{cfp} u_{o,i} i_p E_i k_i \zeta_r h_i \quad (5)$$

Где

$\gamma_{cfp}$  аналогичен  $\gamma_{cf}$  в формуле (4);

$u_{o,i}$  – сумма размеров сторон  $i$ -го поперечного сечения сваи, которые имеют наклон к оси сваи;

$i_p$  – наклон боковых граней сваи к ее оси;

$E_i$  – модуль деформации слоя грунта, окружающего боковую поверхность сваи, определяемый по результатам компрессионных испытаний;

$k_i$  – коэффициент, зависящий от вида грунта [1];

$\zeta_r$  – реологический коэффициент, принимаемый равным 0,8 [1].

Несущую способность сваи на подошве грунтового ядра, заполняющего полость трубчатой сваи при ее погружении, представляем в виде:

$$F_{dя} = \min\{F_{dRЯ}; F_{dфЯ}\}, \quad (6)$$

где  $F_{dRЯ}$  – несущая способность сваи на подошве грунтового ядра;

$F_{dфЯ}$  – несущая способность на внутренней поверхности трубчатой сваи.

$F_{dRЯ}$  определим по (3) при  $A_i = A_я$ , где  $A_я$  – площадь сечения грунтового ядра.

$F_{dфЯ}$  определим по (5) при  $U_i = U_я$ , где  $U_я$  – периметр поперечного сечения грунтового ядра.

Более подробно расчет НСС трубчатых свай рассмотрен, например в [5].

Для сопротивления грунта под лопастью винта запишем:

$$R_i = \min\{R; R_T\}, \quad (7)$$

где  $R_T$  – табличное значение  $R$  согласно [4].

Для винтовых свай:

$$R_p = (a_1 c_1 + a_2 \gamma_1 h_1), \quad (8)$$

где

$a_1, a_2$  – безразмерные коэффициенты, принимаемые в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения грунта в рабочей зоне  $\varphi$  (под рабочей зоной понимается прилегающий к лопасти слой грунта толщиной, равной  $d$ );

$c_1$  – расчетное значение удельного сцепления грунта в рабочей зоне;

$\gamma_1$  – осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих выше лопасти сваи (при водонасыщенных грунтах с учетом взвешивающего действия воды);

$h_1$  – глубина залегания лопасти сваи от природного рельефа, а при планировке территории срезкой, от уровня планировки;

## *Выводы*

Обобщенная формула несущей способности сваи отличается существенной новизной и не имеет аналогов в известной нам литературе.

Обобщенная формула несущей способности сваи позволяет расширить область ее применения, сократить запись расчетных зависимостей и обеспечивает, с нашей точки зрения, лучшее понимание физическо-механической основы расчета.

Эта формула представляет наибольшие возможности для разработки вычислительных программ для ЭВМ (электронно-вычислительных машин).

Здесь также существенно уточнены составляющие сопротивления обобщенной формулы несущей способности сваи.

Предлагаемое направление исследования по обобщению методик расчета несущей способности сваи авторам представляется перспективным.

## Литература

1. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
2. СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов.
3. Верстов В.В., Гайдо А. Н., Иванов Я.В. Технология и комплексная механизация шпунтовых и свайных работ. СПб.: Изд-во «Лань», 2012. 288 с.
4. Булатов Г. Я., Колосова Н. Б. Критерии выбора вибропогружателя // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7. С. 71-75.
5. Булатов Г. Я., Ножнов А. П. Численное моделирование влияния грунтового ядра на несущую способность трубосваи // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2. С. 27-35.
6. Елистратов В.В., Константинов И.А., Панфилов А.А. Расчет фундаментов ветроэнергетических установок. Часть 2. Свайные фундаменты. СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2005. 95 с.
7. Штоль Т.М. и др. Технология возведения подземной части здания и сооружений. М.:Стройиздат,1990.-288 с.
8. 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
9. Вертынский О. С. Определение несущей способности набивных конических свай // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. Т. 4. №1. С. 78-82.
10. Голубков В. Н. Несущая способность свайных оснований. М.: Машстройиздат, 1950. С. 77-143.
11. Соснина С.А. Оценка несущей способности висячих забивных свай - оболочек гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2003. №2 . С. 31-34.
12. Бахолдин Б. В. Сопротивление свай горизонтальным нагрузкам // Основания, фундаменты и механика грунтов: научно-технический журнал. 2010. №6. С. 8-13
13. Шишов И. И. Определение несущей способности сжато-изогнутой сваи в вечномерзлом грунте // Основания, фундаменты и механика грунтов: научно-технический журнал. 2010. №4 . С. 15-18
14. Димов Л. А. Несущая способность свай в глинистых грунтах по результатам расчетов и полевых испытаний // Основания, фундаменты и механика грунтов: научно-технический журнал. 2006. №3. С. 26-29.
15. Tsinker G. P. (2004). Port engineering: planning, construction, maintenance and security. New Jersey: Harbors. Design and Construction, 2004. 881 p.
16. Philipponnat G., Hubert B. (2008). Fondation et ouvrages en terre. Paris.: Eyrolles, 2008. 548 p.
17. Van Impe W.F. (1991). Deformations of deep foundation. General Report X.ECSMFE. Florence, 1991. 2638 p.
18. Van Impe W.F. (1991). Developments in pile design. DFI. Conference. Stressa, 1991. Pp. 2217-2234.
19. Underground facilities in the urban area on the soft ground (2010). Urban Development and the Geotechnical Engineering. 2010. Issue 1. 23 p.
20. Davis A.G. (1995). Nondestructive Evaluation of Existing Deep Foundations. ASCE Journal of the Performance of Constructed Facilities. 1995. Issue 9. Pp. 57-74.

## The resumptive pile load capacity equation

G.Ya. Bulatov<sup>1</sup>, E.I. Lysyakova<sup>2</sup>, M.A. Korenevskaya<sup>3</sup>

Saint-Petersburg Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia

### ARTICLE INFO

Technical paper

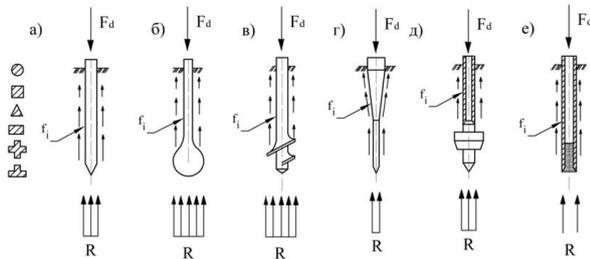
### Article history

Received 17 May 2014  
Accepted 29 May 2014

### Keywords

pile load capacity,  
piles,  
pile types,  
piles foundation,  
calculating of pile load capacity.

### ABSTRACT



The article is devoted to different formulas, describing the equation of pile load capacity. The most part of current building projects, ranging from country houses to high-rise building, utilizes various types of pile foundations.

Today exists a broad practice of designing piles and calculating pile load capacity, such as pyramidal, fundex, caisson piles etc. This brings the immense actuality to the universal methods of estimating these loads and verifying results. This approach should be based on a deep understanding of physical and mechanical principals of the process. Basing on the

analysis of scientific literature and the common practice of pile load capacity equation, we introduce a universal formula to estimate pile load capacity for all types of piles. The resumptive formula may be widely used in different building projects and as an effective tool while developing engineering computer applications.

<sup>3</sup> Corresponding author:  
+7 (911) 101 6565, marishka.korenevskaya@gmail.com (Marina Anatoljevna Korenevskaya, Student)  
<sup>2</sup> +7 (921) 870 4750, LKate26@mail.ru (Ekaterina Igorevna Lysyakova. B.Sc.)  
<sup>1</sup> +7 (812) 297 5949, gybulatov@mail.ru (Georgiy Yakovlevich Bulatov, Ph.D., Associate Professor)

## References

1. SP 24.13330.2011 *Svaynyye fundamenty. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.03-85.* [SP 24.13330.2011 Pile foundations. SNiP 2.02.03-85 updated edition] (rus)
2. SP 50-102-2003. *Proyektirovaniye i ustroystvo svaynykh fundamentov.* [SP 50-102-2003. Design and installation of pile foundations] (rus)
3. Verstov V.V., Gaydo A. N., Ivanov Ya.V. (2012). *Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya shpuntovykh i svaynykh rabot.* [Technology and mechanization and sheet piling] SPb.: Izd-vo «Lan», 2012. 288 p.(rus)
4. Bulatov G.Ya., Kolosova N.B. (2011). Criteria for selecting the vibratory pile drivers. Magazine of Civil Engineering. 2011. Vol. 25. Issue 7. Pp. 71-75. (rus)
5. Bulatov G.Ya., Nozhnov A.P. (2010). Numerical simulation of the influence of soil core on the bearing capacity of pipe pile. Magazine of Civil Engineering. 2010. Vol. 12. Issue 2. Pp. 27-35. (rus)
6. Yelistratov V.V., Konstantinov I.A., Panfilov A.A. *Raschet fundamentov vetroenergeticheskikh ustanovok. Chast 2. Svaynyye fundamenty.* [Calculation of foundations of wind turbines. Part 2. Pile foundations.] SPb.: Izd-vo Politekhn. Un-ta, 2005. 95 p. (rus)
7. Shtol T.M. et. al. (1990). *Tekhnologiya vozvedeniya podzemnoy chasti zdaniya i sooruzheniy.* [Building technology and other underground parts of buildings and structures] M. Stroyizdat, 1990. 288 p. (rus)
8. Bakhholdin B. V., Igonkin N. T. (1968). *K voprosu o soprotivlenii grunta po bokovoy poverkhnosti svai.* [Concerning the resistance of the soil along the lateral surface of the pile] Trudy NIIOSP, Issue 58 (Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya). M.: Izd-vo NIIOSP, 1968. Pp. 9-13. (rus)
9. Vertynskiy O.S. (2006) *Opredeleniye nesushchey sposobnosti nabivnykh konicheskikh svay.* [Determining the bearing capacity of conical piles of printed] Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2006. Vol. 4. Issue 1. Pp. 78-82. (rus)
10. Golubkov V.N. (1950). *Nesushchaya sposobnost svaynykh osnovaniy* [Bearing capacity of pile foundations] M.: Mashstroyizdat, 1950. Pp. 77-143. (rus)
11. Sosnina S.A. (2003). *Otsenka nesushchey sposobnosti visyachikh zabivnykh svay - obolochek gidrotekhnicheskikh sooruzheniy.* [Evaluation of bearing capacity of driven piles hanging - shells waterworks] Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo. 2003. Issue 2. Pp. 31-34. (rus)
12. Bakhholdin B.V. (2010). *Soprotivleniye svay gorizontalnym nagruzkam.* [Resistance piles horizontal load] Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov: nauchno-tekhnicheskij zhurnal. 2010. Issue 6. Pp. 8-13. (rus)
13. Shishov I.I. (2010). *Opredeleniye nesushchey sposobnosti szhato-izognutoy svai v vechnomerzлом grunte.* [Determination of the bearing capacity of compressed-bent piles in permafrost] Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov: nauchno-tekhnicheskij zhurnal. 2010. Issue 4. Pp. 15-18. (rus)
14. Dimov L.A. (2006). *Nesushchaya sposobnost svay v glinistykh gruntakh po rezultatam raschetov i polevykh ispytaniy.* [Bearing capacity of piles in clay soils on the results of calculations and field trials] Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov: nauchno-tekhnicheskij zhurnal. 2006. Issue 3. Pp. 26-29. (rus)
15. Tsinker G. P. (2004). Port engineering: planning, construction, maintenance and security. New Jersey: Harbors. Design and Construction, 2004. 881 p.
16. Philipponnat G., Hubert B. (2008). Fondation et ouvrages en terre. Paris.: Eyrolles, 2008. 548 p.
17. Van Impe W.F. (1991). Deformations of deep foundation. General Report X.ECSMFE. Florence, 1991. 2638 p.
18. Van Impe W.F. (1991). Developments in pile design. DFI. Conference. Stressa, 1991. Pp. 2217-2234.
19. Underground facilities in the urban area on the soft ground (2010). Urban Development and the Geotechnical Engineering. 2010. Issue 1. 23 p.
20. Davis A.G. (1995). Nondestructive Evaluation of Existing Deep Foundations. ASCE Journal of the Performance of Constructed Facilities. 1995. Issue 9. Pp. 57-74.