

УДК 681.3.06:624.131

## Методика расчёта одиночной винтовой сваи по второму предельному состоянию

Д.В. ПРОКОПЕНКО

Предлагается приближённая аналитическая методика определения предельной несущей способности винтовой сваи в нелинейно-деформируемом грунтовом основании с учётом уплотнения грунта вокруг ствола сваи.

**Ключевые слова:** винтовая свая, нелинейно-деформируемое грунтовое основание, уплотнение грунта, предельная несущая способность, приближённая аналитическая методика.

An approximate analytical method is proposed for determining the maximum bearing capacity of a screw pile in a nonlinearly deformable soil foundation, taking into account the compaction of the soil around the pile shaft.

**Keywords:** screw pile, non-linearly deformable soil base, soil compaction, limiting bearing capacity, approximate analytical method.



Рисунок 1 – Винтовая свая

**Введение.** В настоящее время, когда расширяются города, строительство играет очень важную роль. Особенно важным фактором является стоимость возводимого здания. При строительстве здания или сооружения стоимость фундамента возводимого здания может достигать третьей части от стоимости всего здания, поэтому рациональное устройство фундамента играет важную роль. При устройстве фундамента здания на основе винтовых свай (рисунок 1) происходит уплотнение грунтового основания вследствие их устройства. В настоящее время расчёт фундаментов зданий на основе винтовых свай, согласно действующим строительным нормам и правилам, происходит без учёта нелинейности деформирования и его уплотнения, что, в свою очередь, повышает стоимость возводимого фундамента и как следствие  $1 \text{ м}^2$  жилой или служебной площади. Поэтому задача учёта нелинейности деформирования грунтового основания и его уплотнения при устройстве винтовой сваи является актуальной. В настоящей работе предлагается оригинальная методика расчёта одиночной винтовой сваи по несущей способности, которая учитывает нелинейность деформирования грунтового основания и его уплотнение вследствие устройства сваи.

**Методика расчёта винтовой сваи по первому предельному состоянию.** Несущую способность винтовой сваи диаметром лопасти  $d < 1,2$  м и длиной  $l < 10$  м, работающей на сжимающую или выдёргивающую нагрузку, согласно строительным нормам и правилам (СНиП) следует определять по формуле (1), а при диаметре лопасти  $d > 1,2$  м и длине сваи  $l > 10$  м – только по данным испытаний винтовой сваи статической нагрузкой [1]:

$$F_d = g_c \left[ (a_1 c_1 + a_2 g_1 h_1) A + u f_i (h - d) \right], \quad (1)$$

где  $g_c$  – коэффициент условий работы, зависящий от вида нагрузки,  $a_1, a_2$  – безразмерные коэффициенты, принимаемые в зависимости от расчётного значения угла внутреннего трения грунта в рабочей зоне,  $c_1$  – расчётное значение удельного сцепления пылевато-глинистого в рабочей зоне,  $g_1$  – осреднённое расчётное значение удельного веса грунтов, залегающих выше лопасти сваи,  $h_1$  – глубина залегания лопасти сваи от природного рельефа,  $A$  – проекция площади лопасти,  $f_i$  – расчётное сопротивление грунта на боковой поверхности ствола винтовой сваи,  $u$  – периметр ствола сваи,  $h$  – длина ствола сваи, погруженной в грунт,  $d$  – диаметр лопасти сваи.

Приведённая формула не учитывает нелинейность деформирования грунтового основания и его уплотнение вследствие устройства винтовой сваи, поэтому автором предложена оригинальная методика учёта этого уплотнения, приведённая ниже.

В настоящем исследовании математическая модель несущей способности уплотнённого грунта принята в виде степенной функции гиперболического типа [2]:

$$y = ax^n, a > 0, n < 0. \quad (2)$$

В соответствии с (2) механико-математическая модель расчётного сопротивления уплотнённой зоны грунта будет иметь вид:

$$f_i = ar_i^k, a > 0, k < 0, r_0 < r_i < r_{up}, \quad (3)$$

где  $r_{up}$  – радиус зоны уплотнения,  $r_0$  – радиус ствола сваи,  $f_i$  – предельное расчётное сопротивление грунта на боковой поверхности винтовой сваи. При  $r_i = r_0$  предельное расчётное сопротивление грунта будет  $f_{imax}$ , при  $r_i = r_{up}$  предельное расчётное сопротивление грунта будет  $f_{imin}$ .

При условии  $r_i = r_{up}$  из (3) определим значение параметра  $a$ :

$$a = \frac{f_{imin}}{r_{up}^k}. \quad (4)$$

Подставив в (3) значение  $a$  из (4), при условии  $r_i = r_0$ , получим расчётное сопротивление уплотнённого грунта:

$$f_{imax} = f_{imin} \left( \frac{r_0}{r_{up}} \right)^k, \quad (5)$$

где

$$k = -\frac{1 - \sin\varphi}{2 - \sin\varphi}.$$

Значения  $f_{imin}$ ,  $r_0$ ,  $r_{up}$  определяются по таблицам СНиП.

Подставим (5) в (1) и получим формулу для определения предельной несущей способности винтовой сваи с учётом нелинейности деформирования грунтового основания и его уплотнения вдоль боковой поверхности:

$$F_{dy} = g_c \left[ (a_1 c_1 + a_2 g_1 h_1) A + u f_{imin} \left( \frac{r_0}{r_{up}} \right)^k (h - d) \right]. \quad (6)$$

**Натурный эксперимент.** Проведем оценку полученного аналитического решения (6) на примере реальной задачи – результатов полевых испытаний винтовых свай, проведённых в научно-исследовательском республиканском унитарном предприятии по строительству институте БелНИИС [3]. Паспорт испытания винтовых свай статической вдавливающей нагрузкой на опытной площадке ОП 2. Опытные винтовые сваи диаметром ствола/лопасти,  $\emptyset$

108/300 мм и длиной ствола 2 и 2,5 метра (рисунок 2) погружались в песчаные основания площадки ОП 2 на глубину 2–2,5 метра при помощи ручного ворота. Результаты проведённого эксперимента приведены в таблице 1.

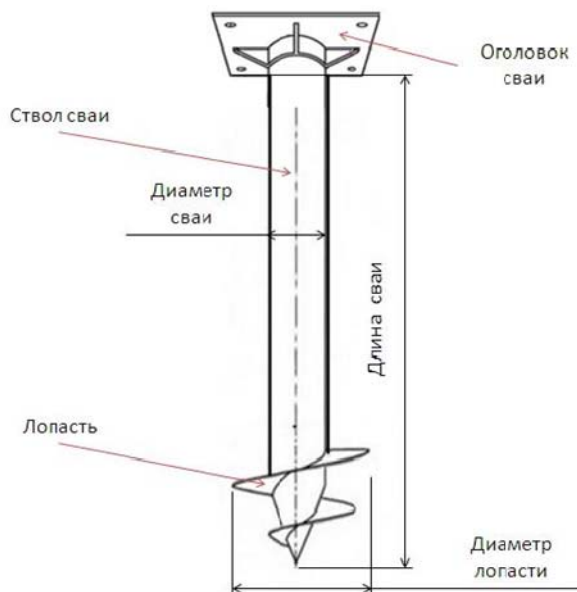


Рисунок 2 – Схема устройства винтовой сваи

Таблица 1 – Характеристики основания, сваи и результаты решения

№	Характеристика основания	Размеры сваи $d \times D \times l$ , мм	Значение $F_{op}$ , кН	Значение $F_{sn}$ , кН	Значение $F_{up}$ , кН
1	Песок мелкий (ИГЭ 2)	108 × 300 × 2000	71	49,7	61,6
2		108 × 300 × 2500	76	59,6	74,9

где –  $F_{op}$  – несущая способность, полученная опытным путём,  $F_{sn}$  – несущая способность, рассчитанная по СНиП формула (1),  $F_{up}$  – несущая способность, рассчитанная по предложенной методике формула (6),  $d$  – диаметр ствола винтовой сваи,  $D$  – диаметр лопасти винтовой сваи;  $l$  – длина винтовой сваи.

Согласно полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1. Предельная несущая способность винтовых свай, рассчитанная по формуле приведённой в строительных нормах и правилах, отличается от экспериментальных данных в среднем на 25,8 %.

2. Предельная несущая способность винтовых свай, рассчитанная по предложенной автором методике, отличается от экспериментальных данных в среднем на 7,35 %.

3. Учёт нелинейности деформирования грунтового основания и его уплотнение вследствие устройства винтовой сваи в среднем увеличивает несущую способность грунтового основания на 18,45 %.

**Заключение.** Из анализа полученных результатов следует, что учёт нелинейности деформирования грунтового основания и его уплотнение вследствие устройства одиночной винтовой сваи позволяет вычислить значения предельной несущей способности (максимально допустимую нагрузку на винтовую сваю) достаточно близкой к экспериментальным данным, представленным отделом оснований и фундаментов научно-исследовательским республиканским унитарным предприятием по строительству института БелНИИС, что позволяет использовать приведённую в работе методику при расчёте фундаментов зданий и сооружений на основе винтовых свай строительных объектов различного назначения.

**Литература**

1. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты: свод правил СП 24.13330.2011: актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 : утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 27 декабря 2010 г., № 786. – Введен 20.05.2011. – Москва, 2011. – 109 с.
2. Быховцев, В.Е. Приближенный аналитический метод определения осадки винтовой сваи в нелинейно-деформируемом грунтовом основании с учётом его уплотнения / В.Е. Быховцев, Д.В. Прокопенко // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2012. – № 6 (75). – С. 110–114.
3. Аль-Тамими, С.С.Х. Несущая способность и устойчивость песчаных оснований коротких винтовых металлических свай при действии вдавливающей и выдёргивающей нагрузок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / С.С.Х. Аль-Тамими ; БНТУ. – Минск, 2017. – 24 с.

Гомельский государственный технический  
университет им. П.О. Сухого

Поступила в редакцию 11.03.2019