

ле (варианты) / Овчаренко Г.И., Францен В.Б. – заявл. 02.04.2001. Оpubл. 27.11.2003. Бюл. № 17  
11. Патент RU № 2182891 Способ получения силикатного кирпича с использованием высококальциевой золы тепловых электростанций / Овчаренко Г.И., Францен В.Б. – Заявл. 21.07.2000. Оpubл. 10.18.2001. Бюл.№22.  
12. Патент RU № 2171988 Способ определения количества корректирующей добавки при изготовлении автоклавного ячеистого бетона на основе высококальциевой золы ТЭЦ / Овчаренко Г.И., Францен В.Б., Черных К.П. – Заявл.21.07.2000. Оpubл. 10.08.2001.Бюл. № 22  
13. Патент RU № 2197449 Способ изготовления газобетона с минимальной средней плотностью на основе высококальциевой золы ТЭЦ / Овчаренко Г.И., Францен В.Б., Черных К.П. – Заявл.02.06.2000. Оpubл. 27.01.2003.Бюл. № 3.

14. Патент № 2259975. Сырьевая смесь для получения неавтоклавного ячеистого бетона (варианты) / Г.И.Овчаренко, Ю.В.Щукина, В.Б.Францен. - Оpubл. 2005. Был.№ 10.  
15. Патент № 2376253 Способ изготовления золопортландцемента из высококальциевой золы тепловых электростанций/ Овчаренко Г.И., Хижинкова Е.Ю., Францен В.Б. – Заявл.18.09.2007. Оpubл. 20.12.2009. Бюл. № 35.

**Францен В.Б.** – к.т.н., доцент, **Щукина Ю.В.** – к.т.н., доцент, **Хижинкова Е.Ю.** – к.т.н., доцент, **Плотникова Л.Г.** – к.т.н., профессор, **Свиридов В.Л.** – д.т.н., профессор, **Алтайский государственный технический университет,** E-mail: egogo1980@mail.ru.

УДК 624.154.001.4

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИНТОВЫХ СВАЙ В ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ ПО ВЕЛИЧИНЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

А.Ю. Халтурин

*В статье приведен обзор и анализ зарубежной и отечественной литературы, касающейся вопроса определения несущей способности винтовых свай по величине крутящего момента, необходимого для их закручивания. Основным объектом исследования является коэффициент пропорциональности  $K_b$ , равный отношению величины несущей способности сваи к крутящему моменту.*

*Ключевые слова:* грунт, винтовая свая, крутящий момент, несущая способность.

Винтовые сваи обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными свайными технологиями, а именно: высокая скорость и низкая трудоемкость монтажа и демонтажа; безударность погружения; возможность установки свай в труднодоступных местах; отсутствие земляных работ; возможность круглогодичного ведения строительного-монтажных работ. Благодаря данным преимуществам на рынке гражданского и промышленного фундаментостроения России наблюдается устойчивый рост применения данной свайной технологии. Как и для любой другой свайной технологии нетривиальной является задача определения несущей способности винтовой сваи.

По действующему в России нормативному документу СП 24.13330.2011 [1] для винтовых свай возможны следующие методы определения несущей способности грунтов:

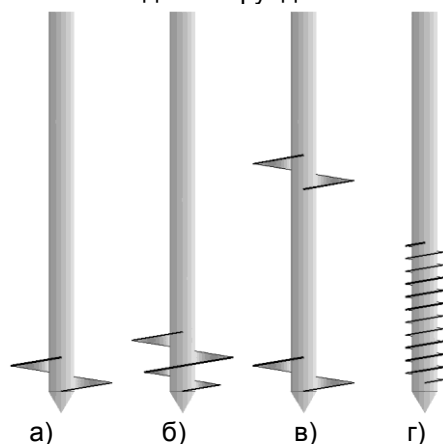
– по результатам статических испытаний натурных свай;

– по данным статического зондирования;  
– с использованием характеристик грунтов основания.

Наиболее надежным методом определения несущей способности свай является метод статических испытаний, в тоже время он является наиболее затратным как в финансовом, так и временном плане. При применении двух других методов возникает вопрос применимости существующих алгоритмов расчета к винтовым сваям разных типов (рисунок 1), поскольку конфигурация винтовых лопастей в значительной мере определяет механизм работы винтовой сваи.

Как известно, существующие методы расчета [1] были разработаны на основании исследований однолитковых широколопастных винтовых свай (рисунок 1, а). Общим недостатком вышеуказанных методов является невозможность контроля несущей способности каждой устанавливаемой сваи, что является особенно актуальным при большой

площади застройки с неоднородными инженерно-геологическими условиями. На объектах строительства, где устанавливается большое количество свай, стоимость необходимых исследований для определения несущей способности может превышать конечную стоимость возводимых фундаментов.



а – одновитковая широколопастная;  
б – многовитковая широколопастная;  
в – многовитковая широколопастная с  
разнесенными витками;  
г – многовитковая узколопастная  
Рисунок 1 – Типы винтовых свай

Одной из особенностей устройства фундаментов из винтовых свай является возможность замера крутящего момента, необходимого для погружения сваи. Наличие прямой взаимосвязи между несущей способностью винтовой сваи при статических сжимающих и выдергивающих нагрузках и крутящим моментом, прикладываемым при ее погружении, было выявлено компаниями-застройщиками в различных странах при обобщении данных на значительном количестве объектов. Начиная с 1960-х годов, данная зависимость стала применяться для опытного подтверждения расчетной несущей способности свай.

В одной из первых публикаций на эту тему [2] авторами была предложена следующая формула

$$P_u = K_t \cdot T, \quad (1)$$

где  $P_u$  – величина несущей способности винтовой сваи на сжимающую или выдергивающую нагрузку, кН;  $K_t$  – коэффициент пропорциональности,  $\text{м}^{-1}$ ;  $T$  – величина крутящего момента, измеряемая на завершающем этапе закручивания, кН/м.

Наличие прямой зависимости в формуле (1) объясняется тем, что крутящий момент, необходимый для погружения винтовой сваи, также как и её несущая способность во многом определяется прочностью грунта, которая характеризуется сопротивлением сдвигу.

Применимость формулы (1) была подтверждена многочисленными данными, полученными как при практической деятельности, так и в ряде научных экспериментальных и теоретических исследований [2-8]. В данных работах для разных типов винтовых свай в различных грунтовых условиях были установлены значения коэффициента пропорциональности  $K_t$ , а также факторы его определяющие.

Так Хойт Р.М. и Клеменс С.П. в работе [2] выдвинули предположение, что коэффициент  $K_t$  зависит в основном от диаметра ствола сваи и практически не зависит от количества и размера винтовых лопастей, а также грунтовых условий. Данные выводы были основаны на результатах натурных испытаний на статические выдергивающие нагрузки 91 сваи с количеством витков от 2 до 14 и диаметром лопастей от 152 до 508 мм, выполненных на 24 различных площадках. Коэффициент пропорциональности  $K_t$  оказался равен  $33 \text{ м}^{-1}$  – для свай с квадратным сечением ствола с диагоналями равными 38, 44, 51 мм; 23 и  $10 \text{ м}^{-1}$  – для свай с круглым сечением ствола диаметром 89 и 203 мм соответственно. При последующих исследованиях было установлено, что для свай, работающих на вдавливание, коэффициент  $K_t$  на 16-33% выше, чем на выдергивание. Для винтовых свай глубокого заложения данную закономерность можно объяснить тем, что при вдавливании ведущая винтовая лопасть работает в направлении грунта ненарушенной структуры.

Статистическая обработка опытных данных в работе [2] также показала, что стандартное отклонение величины несущей способности винтовой сваи, определенной по замеренной величине крутящего момента, значительно ниже, чем определенной методами, основанными на расчетах с использованием характеристик грунтов. В-первую очередь это связано с тем, что рассматриваемый метод позволяет избежать ошибок, связанных с определением характеристик грунтов, а также их усреднением по всей площадке устройства фундаментов.

Стоит отметить, что данные, полученные в работе [2], находят подтверждения в работах других авторов и до настоящего времени

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИНТОВЫХ СВАЙ В ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ ПО ВЕЛИЧИНЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

применяются в практической деятельности зарубежных строительных фирм.

В работе [3] Перко Г.А. провел анализ результатов более 300 испытаний винтовых свай в различных инженерно-геологических условиях, которые были предоставлены как другими исследователями, так рядом частных фирм. Следуя гипотезе о том, что коэффициент  $K_t$  зависит в основном от диаметра ствола сваи, им была получена следующая зависимость

$$K_t = \frac{\lambda_k}{d_{eff}^{0,92}} \quad (2)$$

где  $\lambda_k$  – коэффициент равный  $1433 \text{ мм}^{0,92}/\text{м}$ ;  $d_{eff}$  – эффективный диаметр ствола сваи (для круглого сечения равен диаметру, для квадратного сечения равен длине диагонали), мм.

Формула (2) хорошо согласуется с результатами Хойта Р.М. и Клеменса С.П. [2]. Однако Перко Г.А. было отмечено, что зависимость (2) имеет коэффициент детерминации ( $R^2$ ) равный 0,64, следовательно коэффициент  $K_t$  в значительной мере зависит от некоторых других параметров, помимо диаметра ствола сваи.

Так в первую очередь стоит отметить, что зависимость (2) получена при совместном анализе испытаний на вдавливающие и выдергивающие нагрузки. Раздельный анализ показывает, что значение коэффициента  $K_t$  при выдергивании в среднем на 10% меньше, чем при вдавливании.

Для дальнейшего анализа параметров, влияющих на коэффициент  $K_t$ , Перко Г.А. вывел теоретическую зависимость между крутящим моментом и несущей способностью сваи, основываясь на энергетической модели. С учетом ряда упрощений для широколопастных винтовых свай была получена зависимость

$$K_t = \frac{H}{d_{eff}} \quad (3)$$

где  $H$  – параметр, зависящий от шага, диаметра и толщины винтовой лопасти, диаметра ствола сваи и характеристик грунта.

Зависимости (2) и (3) показывают близкую сходимость для винтовых свай различных конфигураций. На основании модели Перко Г.А. также можно сделать вывод о незначительной зависимости значений коэф-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК №1/2 2012

фициента  $K_t$  от количества витков винтовой лопасти, крутящего момента и величины пригруза, необходимого для погружения сваи.

В работе [4] представлены результаты натуральных испытаний 19 свай на одной площадке с песчаным грунтом и на двух площадках с пылевато-глинистыми грунтами. Были испытаны сваи квадратного сечения с диагоналями 45 мм и тремя приваренными витками диаметрами 200, 250, 300 мм, разнесенными по длине ствола. Результаты данных исследований подтвердили возможность применения зависимости (1). Средние значения коэффициента  $K_t$  показали удовлетворительную сходимость со значениями, полученными в исследованиях [2-3]. При испытаниях на вдавливание в пылевато-глинистых грунтах среднее значение коэффициента  $K_t$  оказалось равным  $38 \text{ м}^{-1}$  при стандартном отклонении  $2,8 \text{ м}^{-1}$ , для песчаных грунтов –  $62 \text{ м}^{-1}$ . При испытаниях на выдергивание для всех видов грунтов среднее значения коэффициента  $K_t$  оказалось равным  $27 \text{ м}^{-1}$  при стандартном отклонении  $4,7 \text{ м}^{-1}$ .

Авторы исследований [4] пришли к выводу, что значение коэффициента  $K_t$  в значительной степени зависит от направления действия усилия на сваю и от вида грунта. Несколько повышенные значения коэффициента  $K_t$  по сравнению с полученными в работах [2-3] можно объяснить тем, что испытания проводились по ускоренной методике стандартов ASTM D1143–81 и ASTM D3689–90 (каждая последующая ступень нагружения прикладывается с интервалом 5 мин).

Авторами статьи [5] были проведены лабораторные испытания моделей винтовых свай на выдергивание в центрифуге в песках различной плотности. Результаты показали, что значение коэффициента  $K_t$  зависит от относительной плотности песка, размеров ствола и лопастей сваи и не зависит от количества винтовых лопастей. Авторами была разработана модель, связывающая несущую способность винтовой сваи на выдергивание и крутящий момент при закручивании. Без учета сил трения по стволу сваи значение коэффициента для песков может быть определено по следующей формуле

$$K_t = \frac{2}{d_c \cdot \tan \theta + \delta_r} \quad (4)$$

где  $\delta_r$  – угол трения металл-грунт;  $d_c, \theta$  – параметры, зависящие от диаметра ствола сваи, диаметра и шага винтовой лопасти.

В статье [5] проанализированы результаты испытаний винтовых свай в песках, выполненных разными авторами. Анализ показал, что значительно более высокие значения коэффициента  $K_t$  получены при испытаниях моделей свай, по сравнению с полевыми испытаниями натуральных свай (рисунок 2). Это доказывает зависимость коэффициента  $K_t$  от геометрических размеров винтовых свай.

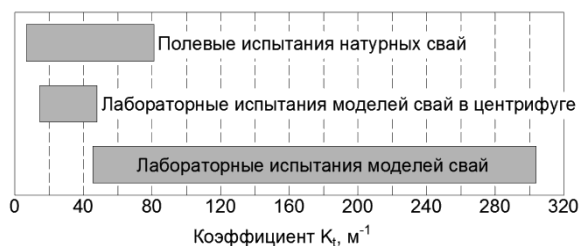


Рисунок 2 – Зависимость величин коэффициента  $K_t$  от вида испытаний

Гали А. и др. были проведены лабораторные испытания в песке при его различной относительной плотности моделей винтовых свай с различной конфигурацией винтовой лопасти на выдерживающие нагрузки [6]. Результаты показали, что коэффициент  $K_t$  напрямую зависит от диаметра и шага винтовой лопасти и не зависит от характеристик песка. По-видимому, зависимость коэффициента  $K_t$  от характеристик песка не выявлена, так как в опытах использовался один и тот же песок с разной степенью уплотнения. Как известно, например, из работ [3, 5] угол трения металл-грунт, влияющий на величину коэффициента  $K_t$ , практически не зависит от плотности песка, но зависит от его гранулометрического состава. В другой серии опытов [7] было получено, что коэффициент  $K_t$  не зависит от наличия воды в грунте, а также от скорости ее движения. В отечественной практике связь несущей способности винтовой сваи и крутящего момента в своей работе рассмотрел Железков В.Н. [8].

Зависимость (1) нашла свое подтверждение в натуральных испытаниях широколопастных винтовых свай в различных грунтовых условиях. Автор оценивает погрешность при определении несущей способности винтовых свай по замеренной величине крутящего момента в ходе закручивания в пределах 10-15%. Железковым В.Н. определена зависимость коэффициента  $K_t$  только от направления действия нагрузки и от физико-механических характеристик грунта.

Зависимость от конфигурации винтовых свай не была получена в виду незначительного различия в геометрических размерах лопастей и стволов испытанных свай. Величины коэффициента  $K_t$ , определенные в работе [8], приведены в таблице 1.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный анализ работ свидетельствует о достаточной обоснованности метода определения несущей способности винтовых свай по величине крутящего момента, необходимого для ее закручивания.

Таблица 1 – Значения коэффициента  $K_t$

Вид грунта	Коэффициент $K_t$	
	вдавливание	выдергивание
глинистый	13-16	7,5-11
песчаный	24-28	4,5-10
гравелистый	26-30	5-8

Зависимость (1) подтверждена многочисленными экспериментальными и теоретическими исследованиями, в которых варьировались следующие параметры:

- конфигурация и размеры винтовых лопастей, сечение и длина ствола сваи;
- инженерно-геологические (грунтовые) условия;
- характер действующей нагрузки;
- методика проведения испытаний (величина и длительность приложения ступеней нагрузки);
- критерии определения несущей способности сваи.

Общемировой опыт доказывает высокую эффективность определения несущей способности винтовых свай по величине крутящего момента для подтверждения расчетной несущей способности свай по результатам их установки в условиях строительной площадки. Успешность применения описываемого метода во многом определяется достоверностью используемых для вычислений коэффициентов  $K_t$ , связывающих несущую способность сваи и величину крутящего момента, для обеспечения чего необходимо:

- проведение экспериментальных исследований для определения коэффициента  $K_t$ , входящего в формулу (1), для каждого используемого типа винтовых свай;
- накопление опытных данных при практическом применении винтовых свай для оценки и корректировки значений коэффициента  $K_t$  в различных инженерно-геологических условиях.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИНТОВЫХ СВАЙ В ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ ПО ВЕЛИЧИНЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Следует также заметить, что взаимосвязь крутящего момента, необходимого для погружения свай, и прочностных характеристик грунтов позволяет получать дополнительную информацию об инженерно-геологических условиях площадки строительства и может в значительной мере дополнять стандартные методы инженерно-геологических изысканий, особенно при недостаточном количестве последних.

Очевидно, что необходима разработка нормативного документа регламентирующего метод определения несущей способности винтовых свай по величине крутящего момента, необходимого для ее закручивания. Данный документ позволит повысить уровень надежности объектов, возводимых на винтовых сваях, при низкой себестоимости предлагаемого метода.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 90 с.
2. Hoyt, R.M. Uplift Capacity of Helical Anchors in Soil / R. M. Hoyt, S. P. Clemence // Proceedings of the 12th International Conference on Soil Mechanics

and Foundation Engineering. – Rio de Janeiro, 1989. – Vol. 2. – P. 1019–1022.

3. Perko, H. A. Helical Piles: A practical guide to design and installation. – New Jersey: John Wiley and Sons, 2009. – 512 p.
4. Livneh, B. Axial testing and numerical modeling of square shaft helical piles under compressive and tensile loading / B. Livneh, M. H. El Naggar // Canadian Geotechnical Journal. – 2008. – Vol. 45, № 8. – P. 1142-1155.
5. Tsuha, C. de H. C. Relationship between installation torque and uplift capacity of deep helical piles in sand / C. de H. C. Tsuha, N. Aoki // Canadian Geotechnical Journal. – 2010. – Vol. 47, № 6. – P. 635-647.
6. Ghaly, A. Installation torque of screw anchor in dry sand / A. Ghaly, A. Hanna, M. Hanna // Soils and foundations. – 1991. – Vol. 31, № 2. – P. 77-92.
7. Ghaly, A. Drivability and pullout resistance of helical units in saturated sands // Soils and foundations. – 1995. – Vol. 35, № 2. – P. 61-66.

Железков, В.Н. Винтовые сваи в энергетических и других отраслях строительства. – СПб.: Издательский дом «Прагма», 2004. – 125 с.

**Халтурин А.Ю.** – аспирант, Алтайский государственный технический университет, E-mail: [khalt.alex@gmail.com](mailto:khalt.alex@gmail.com).

УДК 624.131.23

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ ОСНОВАНИЯ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

Л.В. Халтурина, А.П. Криворотов, В.С. Кусковский

*На основании экспериментальных исследований сделан вывод о необходимости учета реальных свойств грунтов и процессов, происходящих в грунтовых основаниях, в расчете оснований по деформациям. Глубину сжимаемой толщи оснований, сложенных лессовидными грунтами, рекомендовано определять с учетом величины структурной прочности грунта.*

*Ключевые слова: пылевато-глинистое основание, глубина сжимаемой толщи, напряженное и деформирование состояние, структурная прочность, лессовидные грунты.*

В действующем с 20 мая 2011 г. СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» [1], в части указаний по расчету деформаций оснований имеется ряд изменений по сравнению со СНиП 2.02.01-83\*. Согласно п. 5.6.6 СП 22.13330.2011 «расчет деформаций основания фундамента при среднем давлении под подошвой фундамента  $p$ , не превышающем расчетное сопротивление грунта  $R$ , следует выполнять, применяя расчетную схему в виде линейно деформируемого полупространства с условным ограничением глубины сжимаемой толщи  $H_c$ ». Расчет-

ную схему в виде линейно деформируемого слоя допускается применять только для предварительных расчетов деформаций оснований фундаментов сооружений II и III уровней ответственности при соблюдении ряда оговоренных условий. Для определения осадки основания фундамента с использованием расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства, рекомендован метод послойного суммирования. Но, согласно п. 5.6.31 СП 22.13330.2011, осадку основания фундамента следует определять с учетом как среднего значения вертикального