

**Емец Е. В.**

*Донбасский государственный технический университет*

*E-mail: elena.emecz@yandex.ru*

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИНТОВОЙ СВАИ НА ЕЁ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

*Работа посвящена анализу влияния геометрических параметров винтовых лопастных свай на их несущую способность в глинистых грунтах.*

**Ключевые слова:** винтовые двух- и трехлопастные сваи, расстояние между лопастями, несущая способность, метод конечных элементов.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Винтовые сваи могут использоваться для поддержки широкого спектра зданий, включая жилые дома, многоквартирные дома, офисные здания, мосты и опоры электропередач.

Они особенно хорошо подходят для использования в районах со сложными инженерно-геологическими условиями (ИГУ). Винтовые сваи также можно использовать в помещениях с ограниченным пространством, так как их можно легко установить в труднодоступных местах.

В настоящее время винтовые сваи широко применяются в транспортном, промышленном и электросетевом строительстве, а также для строительства военных инженерных сооружений. Конструкции винтовых свай характеризуются значительной материалоемкостью, так как стволы изготавливают из стальных труб большого диаметра.

При выборе оптимального типа винтовых свай для использования в строительстве необходимо учитывать несколько ключевых факторов. Первый — это инженерно-геологические условия на участке строительства. Винтовые сваи могут использоваться в различных условиях, включая песчаные, глинистые грунты, но некоторые типы свай могут быть более подходящими для определенных типов грунтов. Например, сваи с плоским наконечником часто используются в более мягких грунтах, в то время как сваи с коническим

литым или сварным наконечниками лучше подходят для более твердых грунтов.

Вторым важным фактором, который следует учитывать при выборе свай, является требуемая несущая способность. Однолопастные сваи имеют меньшую несущую способность (20–40 кН) по сравнению с двухлопастными и трехлопастными сваями — более 50 кН.

Материал изготовления также является важным фактором, поскольку стальные сваи, как правило, прочнее и долговечнее алюминиевых или пластиковых.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями влияния различных факторов на несущую способность винтовых свай занимались В. Н. Железков [1], В. Н. Кравцов [2], Ф. А. Макаров [3], А. И. Полищук [4] и другие.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что несущая способность винтовой сваи зависит от следующих параметров:

- типа грунта (чем плотнее грунт, тем большую нагрузку выдерживает свая);
- площади лопасти (на размер поверхности лопасти приходится почти вся нагрузка, и её площадь прямо пропорциональна несущей способности сваи);
- расстояния между лопастями;
- глубины завинчивания (с увеличением глубины завинчивания сваи увеличивается её несущая способность. Это происходит за счет того, что с увеличением глубины грунт

становится плотнее, и во время установки лопасть уплотняет грунт под собой).

Малоизученным актуальным является вопрос изучения влияния геометрических параметров (расстояния между лопастями) винтовой сваи на ее несущую способность.

**Постановка задачи.** Большая часть исследований посвящена изучению работы винтовых свай с одной лопастью. Значительно меньше проведено экспериментальной и теоретической работы по изучению взаимодействия винтовых свай с несколькими лопастями (двух- и трехлопастных свай) с грунтом. Также открытым остается вопрос по изучению влияния расстояния между лопастями (шаг лопастей) винтовых свай на их несущую способность.

**Объект исследования** — несущая способность винтовых свай.

**Предмет исследования** — влияние расстояния между лопастями на несущую способность сваи.

**Цель исследования** — оценить влияние расстояния между лопастями на несущую способность винтовых лопастных свай.

**Методика исследования.** Из анализа исследований работы многолопастных винтовых свай следует, что расстояние между лопастями является важным параметром, характеризующим работу свай при действии внешней нагрузки. Особенно актуальным является вопрос о назначении расстояния между лопастями для свай длиной 2,0–4,0 м как наиболее часто применяемых для мало-нагруженных быстровозводимых зданий.

Согласно требованиям норм к расчету винтовой сваи её несущая способность определяется как сумма сопротивлений грунта под лопастью и по боковой поверхности:

$$F_d = \gamma_c (F_{d0} + F_{df}), \quad (1)$$

где  $\gamma_c$  — коэффициент условий работы сваи, зависящий от вида нагрузки, действующей на сваю, и грунтовых условий;  $F_{d0}$  — несущая способность лопасти, кН;  $F_{df}$  — несущая способность ствола, кН.

Несущая способность лопасти винтовой сваи определяется по формуле

$$F_{d0} = (\alpha_1 \cdot c_1 + \alpha_2 \cdot \gamma_1 \cdot h_1) A, \quad (2)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  — безразмерные коэффициенты, принимаемые в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения грунта в рабочей зоне  $\varphi_1$  (под рабочей зоной понимается прилегающий к лопасти слой грунта толщиной, равной  $d$ );  $c_1$  — расчетное значение удельного сцепления грунта в рабочей зоне, кПа;  $\gamma_1$  — осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих выше лопасти сваи (при водонасыщенных грунтах с учетом взвешивающего действия воды), кН/м<sup>3</sup>;  $h_1$  — глубина залегания лопасти сваи от природного рельефа, а при планировке территории срезкой — от уровня планировки, м;  $A$  — проекция площади лопасти, рассчитываемой по наружному диаметру, при работе винтовой сваи на сжимающую нагрузку, м<sup>2</sup>.

Несущая способность ствола винтовой сваи определяется по формуле

$$F_d = \gamma_c \cdot u \cdot f_i (h - d), \quad (3)$$

где  $\gamma_c$  — коэффициент условий работы сваи, зависящий от вида нагрузки, действующей на сваю, и грунтовых условий;

$u$  — периметр поперечного сечения ствола сваи, м;

$f_i$  — расчетное сопротивление грунта на боковой поверхности ствола винтовой сваи, кПа;

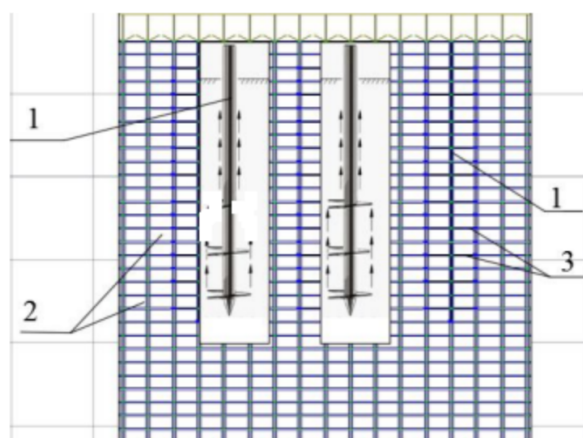
$h$  — длина ствола сваи, погруженной в грунт, м;

$d$  — диаметр лопасти сваи, м.

**Изложение материала.** Для численного исследования работы винтовых свай составлена конечноэлементная схема грунтового массива с двух- и трехлопастной свайей в ПК Лира-САПР (рис. 1).

В расчетной схеме свайного фундамента приняты размеры грунтового массива  $15 \times 15 \text{ м}^2$ .

Параметры грунтового массива — глина: удельный вес  $19,4 \text{ кН/м}^3$ , модуль упругости  $E = 21 \text{ МПа}$ , коэффициент Пуассона  $\mu = 0,15$ , удельное сцепление  $c = 0,041 \text{ МПа}$ , угол внутреннего трения  $\varphi = 16,7^\circ$ .



1 — ствол сваи; 2 — конечный элемент, моделирующий работу грунта; 3 — лопасть сваи

Рисунок 1 — Расчетная схема грунтового массива и многолопастной сваи

Параметры сваи: длина 2,0–4,0 м, диаметр ствола 0,1 м, диаметр лопасти 0,3 м, расстояние между лопастями определялось соотношением  $L/D$ , где  $L$  — расстояние между лопастями,  $D$  — диаметр лопасти.

Расчетная схема свайного фундамента представлена рядом следующих конечных элементов:

1) КЭ 2 — элемент, моделирующий работу ствола и лопасти сваи и ростверка;

2) КЭ 281 — элемент, моделирующий работу грунтового массива; размер элемента принят 0,5×0,5 м;

3) КЭ 262 — элемент, моделирующий связь грунтового массива со свайей.

Для моделирования совместности работы сваи и грунтового массива по боковой поверхности сваи предусмотрены КЭ 262, работающие на растяжение. Под нижним концом сваи предусмотрены КЭ 262, работающие на сжатие. Свая погружена в грунт на 2–5 м.

Выполненные численные исследования позволили установить напряженно-деформированное состояние грунтового массива вокруг сваи и область разрушения грунта при расстоянии между лопастями  $L/D=2,0–3,0$ .

Рациональным шагом лопастей является шаг, при котором обеспечивается наибольшее включение лопастей в работу, что обеспечивает максимальную несущую способность сваи в глинистых грунтах. Если

расстояние между лопастями достаточно большое, то это приведет к увеличению длины сваи. При малом межлопастном интервале лопасти будут работать неэффективно по причине возникновения области взаимного влияния лопастей.

Результаты расчетов показали, что при расстоянии  $L$  между лопастями  $(2,0–2,5)D$  обеспечивается наибольшая несущая способность по грунту ( $F_d$ ) винтовых двухлопастных свай.

Наличие части грунтового массива между лопастями приводит к увеличению площади боковой поверхности винтовой двух- и трехлопастной сваи на участке между лопастями и повышению ее несущей способности в целом. При увеличении расстояния  $L$  между лопастями более  $2,5D$  меняется характер работы винтовой двухлопастной сваи. Это проявляется в том, что все лопасти винтовой сваи начинают работать независимо друг от друга. Грунт на участке между лопастями в этом случае не работает как единый цельный элемент совместно со стволом сваи.

По результатам численных исследований был построен график зависимости несущей способности винтовых двухлопастных свай ( $F_d$ ) от соотношения расстояния между лопастями и диаметра лопасти. При этом было установлено, что наибольшая несущая способность 60 кН соответствует соотношению  $L/D=2,0–2,5$  (рис. 2).

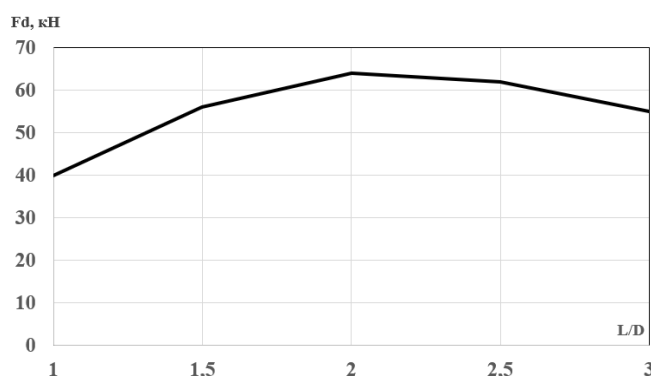


Рисунок 2 — Зависимость несущей способности винтовой двухлопастной сваи от её геометрических параметров

Таким образом, было подтверждено, что расстояние между лопастями ( $L$ ) является одним из основных геометрических параметров, который влияет на несущую способность винтовых двух- и трехлопастных свай в глинистых грунтах.

Снижение несущей способности при интервале более  $2,5$  диаметров связано с тем, что объем грунта в межлопастном пространстве теряет жесткость и утрачивает возможность работать совместно. Если верхняя лопасть имеет незначительное заглубление (менее  $4D$ ), происходит снижение величины несущей способности сваи в целом. Уменьшение несущей способности по грунту для свай с шагом менее  $2D$  связано с малой площадью боковой поверхности грунта, заключенного между лопастями, и некоторым взаимовлиянием лопастей в процессе работы.

Таким образом, полученные результаты доказывают, что в глинистых грунтах при устройстве второй и третьей лопастей и оптимальном расстоянии между лопастями  $L/D=2,0-2,5$  происходит увеличение несущей способности винтовой сваи на  $25-30\%$  по сравнению с несущей способностью однолопастной сваи.

При шаге более  $2,5D$  в глинистых грунтах верхняя и нижняя лопасти начинают

взаимодействовать с грунтом независимо друг от друга, что снижает эффективность их работы.

Снижение несущей способности винтовых свай с шагом менее  $2,0D$  связано с уменьшением площади боковой поверхности грунта на участке между лопастями.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Оптимальное расстояние между лопастями| винтовых свай в глинистых грунтах оставляет ( $2-2,5$ ) диаметра лопасти. При шаге лопастей более  $2,5$  диаметров происходит снижение несущей способности сваи, так как объем грунта в межлопастном пространстве теряет жесткость и утрачивает возможность работать совместно.

2. В глинистых грунтах при устройстве второй и третьей лопастей и оптимальном расстоянии между лопастями  $L/D=2,0-2,5$  происходит увеличение несущей способности винтовой сваи на  $25-30\%$  по сравнению с несущей способностью однолопастной сваи.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение влияния геометрических параметров винтовых свай на их несущую способность в сложных инженерно-геологических условиях.

#### Список источников

1. Железков В. Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства. СПб. : Прагма, 2004. 128 с.

2. Кравцов В. Н., Чеботарь Л. С. Эффективность использования винтовых свай в сложных грунтовых условиях Беларуси // *Геотехника: Научные прикладные аспекты строительства надземных и подземных сооружений на сложных грунтах : межд. сб. тр. СПб. : СПбГАСУ, 2008. С. 186–191.*

3. Максимов Ф. А., Серебренникова Е. Н., Скоморохов М. М. Исследования совместной работы двухлопастной винтовой сваи с грунтом в лабораторных условиях // *Геотехника: теория и практика : сб. науч. ст. конф. СПб. : СПбГАСУ, 2013. С. 52–55.*

4. Полищук А. И., Максимов Ф. А., Болгов И. В. Винтовые двухлопастные сваи и перспективы их использования для фундаментов временных зданий // *Научное обеспечение агропромышленного комплекса : матер. Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых. Краснодар : КубГАУ, 2014. С. 232–234.*

© Емец Е. В.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. СА ДонГТУ Бондарчуком В. В., к.т.н., гл. инженером проекта НПЦ «Сваркон» Антошиной Т. В.*

Статья поступила в редакцию 04.12.2024.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

**Емец Елена Васильевна**, канд. техн. наук, доцент каф. строительства и архитектуры Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Россия, e-mail: elena.emecz@yandex.ru

**Emets E. V.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, e-mail: elena.emecz@yandex.ru)

#### ASSESSMENT OF IMPACT OF SCREW PILE GEOMETRICS ON ITS BEARING CAPACITY

*The work is devoted to analyzing the influence of geometrics of screw bladed piles on their bearing capacity in argillaceous soils.*

**Key words:** screw double- and three-bladed piles, distance between piles, bearing capacity, finite-element method.

#### References

1. Zhelezkov V. N. Screw piles in energy and other construction industries [Vintovye svai v energeticheskoy i drugih otraslyah stroitel'stva]. SPb. : Pragma, 2004. 128 p. (rus)

2. Kravtsov V. N., Chebotar L. S. Efficiency of using screw piles in difficult ground conditions of Belarus [Effektivnost' ispol'zovaniya vintovykh svaj v slozhnykh gruntovykh usloviyakh Belarusi]. Nauchnye prikladnye aspekty stroitel'stva nadzemnykh i podzemnykh sooruzhenij na slozhnykh gruntah : mezhd. sbornik tr. Geotekhnika. SPb. : SPSUACE, 2008. Pp. 186–191. (rus)

3. Maksimov F. A., Serebrennikova E. N., Skomorohov M. M. Investigations of interaction of double-bladed screw piles with soil in laboratory conditions [Issledovaniya sovmestnoj raboty dvuhlopastnoj vintovoj svai s gruntom v laboratornykh usloviyakh]. Geotekhnika: teoriya i praktika : sbornik nauchnykh statej konferencii. SPb. : SPSUACE, 2013. Pp. 52–55. (rus)

4. Polishchuk A. I., Maksimov F. A., Bolgov I. V. Screw double-bladed piles and prospects of their use for foundations of temporary buildings [Vintovye dvuhlopastnye svai i perspektivy ih ispol'zovaniya dlya fundamentov vremennykh zdaniij]. Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa : materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh. Krasnodar : KubSAU, 2014. Pp. 232–234. (rus)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Emets Elena Vasiliyevna**, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Building and Architecture

Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, e-mail: elena.emecz@yandex.ru