

УДК69:624.012.45

*к.т.н. Емец Е. В.**(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, elena.emecz@yandex.ru),**к.т.н. Карпетыян С. Х.**(ЛГУ им. В. Даля, г. Алчевск, ЛНР, karapetyanskh@gmail.com)*

## ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИНТОВЫХ СВАЙ В РАЗЛИЧНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

*Работа посвящена анализу несущей способности винтовых свай в различных инженерно-геологических условиях для фундаментов быстровозводимых временных зданий.*

**Ключевые слова:** винтовые сваи, несущая способность, глинистые и песчаные грунты, метод конечных элементов.

В практике проектирования быстровозводимых временных зданий в глинистых грунтах применение традиционных фундаментов (ленточных или столбчатых) приводит к нерациональному вложению материальных средств. Глинистые грунты считаются наиболее сложными для строительства, так как они являются подвижными. Их основной недостаток — вероятность неоднородных просадок, в результате которых здание может обрушиться уже через несколько лет после возведения. Между мелкими частицами глины накапливается влага, которая при замерзании увеличивается в объеме и выталкивает основание. Решением данной проблемы может стать строительство зданий на винтовых сваях. Они погружаются на значительную глубину до достижения плотных слоев грунта, поэтому приобретают повышенную несущую способность.

Главные преимущества использования винтовых свай в глинистых грунтах:

- надежность (сваи не повреждаются силами морозного пучения, основание сохраняет прочность на протяжении десятков лет);
- коррозионная стойкость;
- способность выдерживать высокие нагрузки (несущая способность каждой сваи составляет 15–20 кН, что позволяет использовать их даже для тяжелых зданий);
- установка в любое время года;
- сокращение сроков строительства;

– возможность установки свай даже на неровных участках без предварительной подготовки, что дополнительно экономит время.

Фундамент из винтовых свай является также наиболее подходящим решением и для песчаного грунта. Свайно-винтовое основание обладает высокой несущей способностью, однако при его строительстве на песке нужно учитывать целый ряд особенностей. Конструкция винтовой сваи зависит от физико-механических характеристик песка, глубины промерзания грунта и др. Песчаные грунты обладают достаточно высокой плотностью, поэтому закручивать в него сваи непросто. Задача решается быстрее, если фундамент предстоит устанавливать в супеси — сухие песчаные грунты без избыточного содержания влаги. Если же предстоит закрутить винтовые сваи в обводненных песках, сделать это можно только с привлечением спецтехники.

**Объект исследования** — винтовые сваи.

**Предмет исследования** — несущая способность винтовых свай в различных инженерно-геологических условиях.

Данная статья посвящена оценке несущей способности винтовых свай в глинистых и песчаных грунтах.

**Цель исследования** — оценить несущую способность винтовых свай в глинистых и песчаных грунтах для фундаментов различных зданий.

Вопросами создания конструкций винтовых свай, машин и механизмов для погружения их в грунт, а также исследованиями взаимодействия свай с основанием занимались Акопян В. Ф., Корниенко М. В. [2], Пресняков О. Б. [2], Балакшин О. И. [2], Хрянина О. В. [3], Максимов Ф. А. [4].

Анализ результатов численных и экспериментальных исследований показывает, что на несущую способность свай оказывают влияние как геометрические характеристики (диаметр ствола, шаг винта лопасти сваи, площадь опирания) (рис. 1), так и физико-механические характеристики грунта. При расчете этого значения для грунтов учитывают показатель текучести ( $I_L$  — для глинистых грунтов) и коэффициент пористости ( $e$ ).

Несущая способность винтовых свай при действии вдавливающих нагрузок для глинистых грунтов определяется по формуле [1]

$$P_u = q_{ult} \cdot A + c_u (n-1) s D \pi + c_u \cdot H_f \cdot \pi \cdot d, (1)$$

где  $q_{ult}$  — предельное сопротивление грунта в основании нижней лопасти, кПа;  $A$  — проекция площади лопасти,  $m^2$ ;  $c_u$  — недренированная прочность глинистого грунта, кПа;  $n$  — число лопастей;  $s$  — расстояние между смежными лопастями, м;  $d$  — диаметр ствола сваи, м;  $D$  — диаметр лопасти сваи, м;  $H_f$  — длина ствола сваи от верхней лопасти до поверхности земли, м.

Первое слагаемое данной формулы отражает несущую способность лопасти, второе слагаемое — несущую способность «грунтового цилиндра», третье — несущую способность грунта вдоль ствола сваи.

Для глинистых грунтов, обладающих внутренним трением и удельным сцеплением, предельное сопротивление нижней лопасти может быть определено в соответствии с известной формулой Терцаги:

$$q_{ult} = 0,6 \cdot N_\gamma \cdot D \cdot \gamma + N_q \cdot \gamma' \cdot H + 1,3 \cdot N_c \cdot c_l, (2)$$

где  $N_\gamma$ ,  $N_q$ ,  $N_c$  — безразмерные коэффициенты несущей способности грунта под

нижней лопастью сваи, принимаемые в зависимости от угла внутреннего трения грунта;  $\gamma$ ,  $\gamma'$  — удельный вес грунта, соответственно, выше и ниже нижней лопасти винтовой сваи,  $kH/m^3$ ;  $c_l$  — удельное сцепление грунта слоя, кПа.

Сила  $F$ , с которой лопасть сваи передает нагрузку на грунт, определяется по формуле

$$F = S \cdot R_0, (3)$$

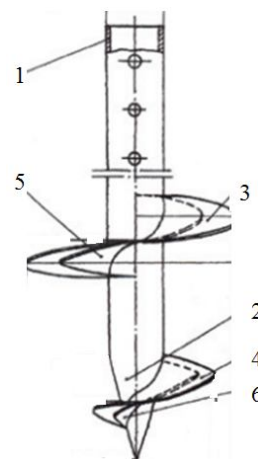
где  $S$  — площадь опоры (лопасти);  $R_0$  — прочностная характеристика грунта.

Площадь опоры принимают равной площади лопасти без учета ее изгиба.

Следует отметить, что с увеличением глубины погружения сваи плотность грунта возрастает, что вносит изменения в расчеты.

С целью повышения несущей способности на вдавливание и выдергивание на 25–30 % и улучшения работы на восприятие горизонтальных нагрузок винтовая свая может изготавливаться с двумя лопастями, разнесенными по длине ствола на расстояние  $1,5D_{сваи}$ .

Для оценки напряженно-деформированного состояния составлена расчетная конечноэлементная схема грунтового массива с винтовой двухлопастной свайей в ПК Лира-САПР (рис. 2).



1 — ствол; 2 — ступица; 3 — винтовые лопасти; 4–6 — накладки усиления

Рисунок 1 Конструкция винтовой сваи

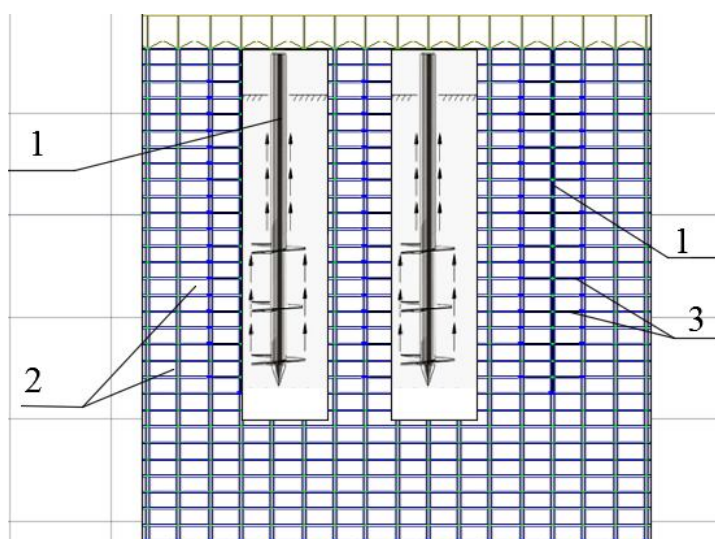


Рисунок 2 Расчетная конечноэлементная схема грунтового массива с винтовой двухлопастной свайей в ПК Лира-САПР

В расчетной схеме свайного фундамента приняты размеры грунтового массива  $15 \times 15 \text{ м}^2$ . Расчетная схема свайного фундамента представлена рядом следующих конечных элементов (рис. 2):

1) КЭ 2 — элемент, моделирующий работу свай и ростверка;

2) КЭ 281 — элемент, моделирующий работу грунтового массива; размер элемента принят  $0,5 \times 0,5 \text{ м}$ ;

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

Для моделирования совместности работы свайи и грунтового массива по боковой поверхности свайи предусмотрены КЭ 262, работающие на растяжение. Под нижним концом свайи предусмотрены КЭ 262, работающие на сжатие.

Свая погружена в грунт на 2–5 м.

Результаты расчета отображают напряженно-деформированное состояние объекта и позволяют произвести детальный анализ несущей способности винтовых свай по изополям перемещений и напряжений (рис. 3) и по формулам 1–3.

По результатам численных исследований был построен график зависимости несущей способности винтовой свайи от характеристик основания и глубины погружения свайи в грунт (рис. 4).

Результаты расчета показали, что на увеличение несущей способности винтовой свайи оказывает существенное влияние глубина заделки свайи в грунт. Так, при увеличении глубины погружения свайи в более прочный грунт (песок средней крупности) с 1,5 м до 5,5 м несущая способность ее увеличивается почти в 4,5 раза. Однако следует учитывать, что при увеличении коэффициента пористости песка несущая способность свайи уменьшается до 1,5 раза.

При погружении свайи в суглинок пластичный ее несущая способность увеличивается в 3 раза.

Главным при подборе конструкции свайи является приоритет грунтовых условий площадки, а также их изменчивость как по глубине, так и в плане. Отсутствие точной информации о характеристиках грунтов основания, о грунтовых условиях не позволит правильно подобрать экономически эффективную конструкцию фундамента и обеспечить эксплуатационную надежность в течение всего срока эксплуатации здания.

Менее значительно изменение несущей способности свайи от ее конструктивных особенностей, чем от физико-механических характеристик грунта.

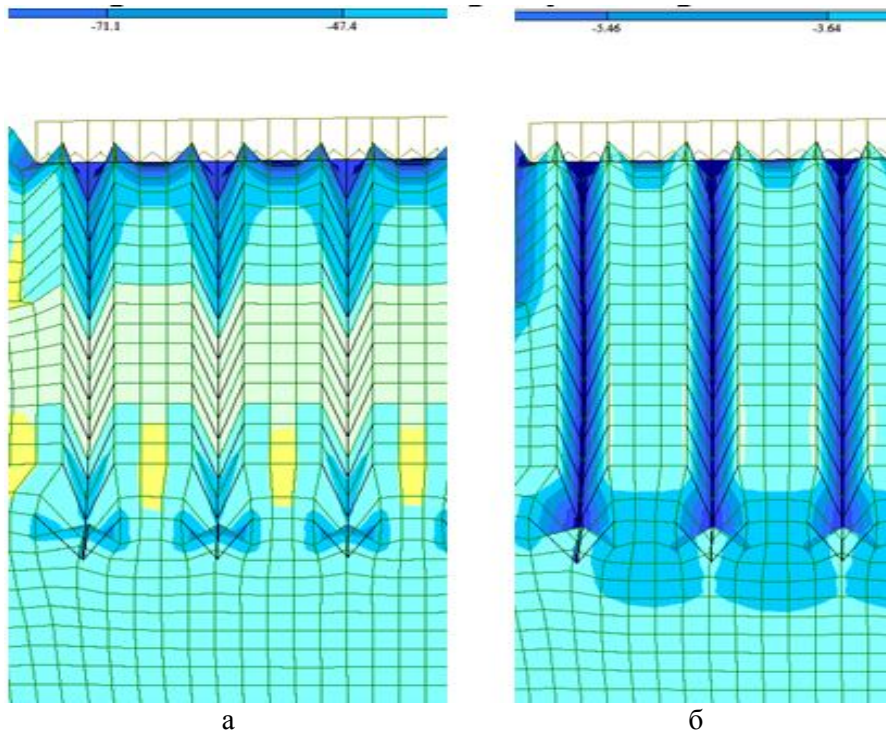
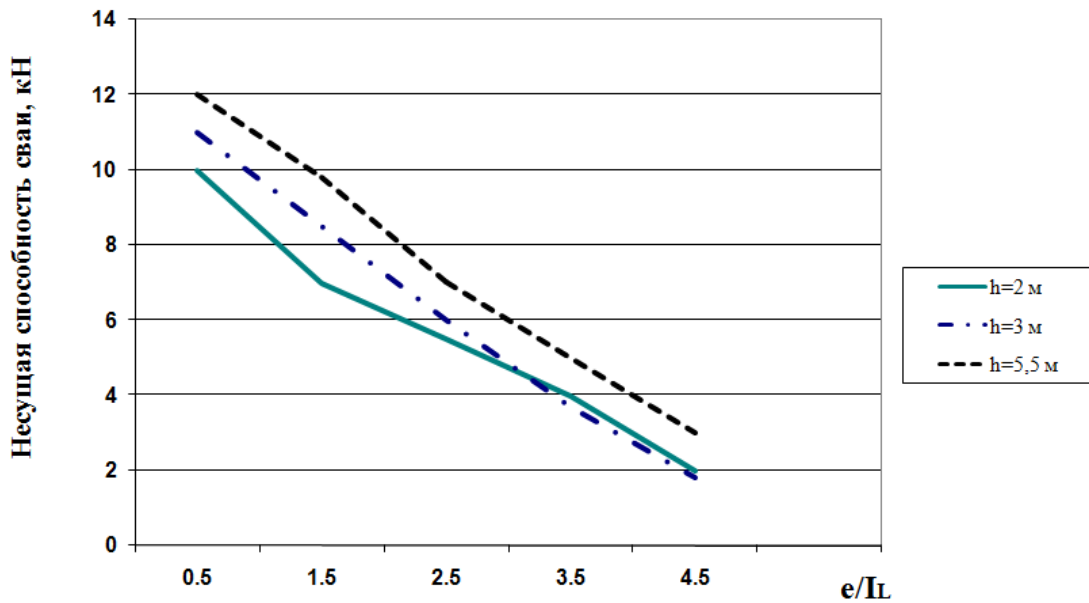


Рисунок 3 Изополя напряжений (а) и перемещений (б) в грунтовом массиве



$e/I_L$  — отношение пористости грунта к показателю текучести;  $h$  — глубина погружения

Рисунок 4 График зависимости несущей способности винтовой сваи от характеристик основания и глубины погружения сваи

Следовательно, из приведенных выше утверждений можно сказать, что на несущую способность винтовых свай оказывают существенное влияние не только гео-

метрические параметры сваи (диаметр сваи), но и инженерно-геологические условия территории строительства.

**Выводы:**

1. На увеличение несущей способности винтовой сваи оказывает существенное влияние глубина заделки сваи в грунте. При увеличении глубины погружения сваи в прочный грунт (песок средней крупности) с 1,5 м до 5,5 м несущая способность ее увеличивается почти в 4,5 раза. А при погружении сваи в пылевато-глинистый грунт несущая способность ее увеличивается в 3 раза.

2. Несущая способность винтовых свай зависит от трех компонентов: сопротивления по стволу сваи, сопротивления по боковой поверхности грунта, заключенного между лопастями, и сопротивления нижней лопасти.

3. При завинчивании сваи в промежутках между лопастями грунт уплотняется, а

следовательно, уменьшается его пористость. В результате этого происходит увеличение несущей способности сваи за счет отжатия грунтовой воды.

4. Размер деформированной зоны грунта вокруг сваи зависит от диаметра ствола сваи ( $D$ ) и распространяется на  $0,75D$  в горизонтальном направлении и на  $1,5D$  под лопастью сваи.

В статье приведены результаты исследования несущей способности винтовых свай в глинистых и песчаных грунтах. Дальнейшие исследования будут направлены на исследование влияния площади опирания, угла наклона лопастей, шага лопастей на несущую способность винтовых свай и подбор характеристик лопастей в зависимости от типа грунтов.

**Библиографический список**

1. Максимов, Ф. А. Совершенствование конструкции и методов расчета винтовых двухлопастных свай в глинистых грунтах [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Максимов Федор Александрович. — Краснодар : ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ», 2018. — 23 с.
2. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 [Текст]. — Введ. 2011-05-20. — М. : АО НИЦ «Строительство», 2011. — 162 с.
3. Корниенко, М. В. Расчет несущей способности вдавливаемых свай с одним и двумя уширениями [Текст] / М. В. Корниенко, О. Б. Пресняков, О. И. Балакишин. — М. : ГНИИСК, 2012. — С. 146–153.
4. Хрянина, О. В. Факторы, влияющие на несущую способность свай в пробитых скважинах [Текст] / О. В. Хрянина // Современные научные исследования и инновации. — 2015. — № 6. — Ч. 1 — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2015/06/55212>.
5. Максимов, Ф. А. Исследования совместной работы двухлопастной винтовой сваи с грунтом в лабораторных условиях [Текст] / Ф. А. Максимов, Е. Н. Серебренникова, М. М. Скоморохов // Геотехника: теория и практика : сборник научных статей конференции. — Краснодар : Изд-во СПбГАСУ, 2013. — С. 52–55.
6. Максимов, Ф. А. Оценка работы боковой поверхности ствола винтовой металлической сваи в глинистом грунте [Текст] / Ф. А. Максимов // Вестник ЮурГУ. Серия «Строительство и архитектура». — 2017. — Т. 17, № 3. — С. 5–11.
7. Полищук, А. И. Инженерный метод расчета осадки винтовой двухлопастной сваи в глинистом грунте [Текст] / А. И. Полищук, Ф. А. Максимов // Основания, фундаменты и механика грунтов. — Краснодар : Изд-во СПбГАСУ, 2017. — № 6. — С. 9–14.

© Емец Е. В.

© Карапетян С. Х.

Рекомендована к печати к.т.н., доц., зав. каф. ПС ДонГТИ Псюком В. В.,  
к.г.н., доц., зав. каф. СиА ЛГУ им. В. Даля Горовой Н. А.

Статья поступила в редакцию 06.03.2023.

**PhD in Engineering Emets E. V.** (*DonSTI, Alchevsk, LPR, elena.emecz@yandex.ru*),  
**PhD in Engineering Karapetyan S. Kh.** (*LSU named after V. Dahl, Alchevsk, LPR,*  
*karapetyanskh@gmail.com*)

**ASSESSMENT OF THE BEARING CAPACITY OF SCREW PILES IN VARIOUS  
ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS**

*The work is devoted to the analysis of the bearing capacity of screw piles in various engineering and geological conditions for the foundations of pre-erected temporary buildings.*

**Key words:** *screw piles, bearing capacity, clay and sandy soils, finite-element method.*