

УДК69:624.012.45

к.т.н. Емец Е. В.,
к.т.н. Каранетян С. Х.
(ЛГУ им. В. Даля, г. Алчевск, ЛНР)

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИНТОВЫХ СВАЙ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ

Работа посвящена анализу несущей способности винтовых свай различной конструкции в глинистых грунтах для фундаментов различных зданий.

Ключевые слова: винтовые одно- и двухлопастные сваи, напряженно-деформированное состояние, несущая способность, метод конечных элементов.

В последние годы все более приоритетным направлением в строительстве становится возведение быстровозводимых зданий, сооружений для объектов агропромышленного и промышленного назначения (логистические центры, склады, тепличные комплексы, летние павильоны и др.).

Такие быстровозводимые здания классифицируются как временные, так как имеют небольшой срок службы (10–20 лет). Рассматриваемые здания легко и быстро монтируются благодаря особенностям конструктивных решений. Быстровозводимые здания, выполненные с использованием новых технологий, характеризуются низким удельным весом строительных конструкций, позволяющим значительно уменьшить нагрузки на основание.

В практике проектирования данного типа зданий и сооружений применение традиционных фундаментов, например ленточных или столбчатых, приводит к нерациональному вложению материальных средств.

В настоящее время известны десятки видов свай, которые различаются по форме, материалу и принципу работы [1, 2]. Практика показала, что для быстровозводимых временных зданий в глинистых грунтах наиболее приемлемыми являются фундаменты из винтовых свай [3, 4]. Применяют, как правило, винтовые металлические сваи длиной до 3 м и диаметром лопастей до 0,4 м.

Преимуществами фундаментов из винтовых свай являются отсутствие земляных работ и минимальное нарушение структу-

ры грунта при их ввинчивании, что позволяет выполнять работы по устройству свай в условиях плотной застройки. В глинистых грунтах эффективность винтовых свай возрастает, если в их конструктивном решении используются не одна, а две лопасти (винтовые двухлопастные сваи) [4]. Такое решение позволяет достичь требуемой несущей способности, уменьшив их материалоемкость. Однако до настоящего времени исследований работы винтовых двухлопастных свай выполнено ограниченное количество. Поэтому тема работы является актуальной.

Данная статья посвящена оценке несущей способности винтовых свай различной конструкции в глинистых грунтах.

Цель исследования — оценить несущую способность винтовых свай различной конструкции в глинистых грунтах для фундаментов различных зданий.

Объект исследования — винтовые одно- и двухлопастные сваи в различных инженерно-геологических условиях.

Предмет исследования — несущая способность винтовых свай различной конструкции.

Конструкция винтовых свай в общем случае состоит из тела сваи и наконечника (рис. 1). В качестве тела сваи, как правило, выступает металлическая труба, наконечники же имеют несколько разновидностей. Основное различие свай состоит в форме наконечника и элемента, благодаря которому происходит завинчивание сваи в

грунт (это может быть винт на конце трубы либо лопасть).

По конструкции лопастей сваи классифицируют как широколопастные и узколопастные или резьбовые (рис. 2).

Широколопастные сваи наиболее распространены в строительстве на большинстве грунтов. Узколопастные применяются обычно в тяжелых и каменистых грунтах, а также в районах вечной мерзлоты.

Несущая способность широколопастных свай существенно выше, чем узколопастных, во-первых, из-за увеличения площади давления опоры на грунт, во-вторых, из-за повышенной устойчивости на выдергивание свай. Это играет большую роль при значительных боковых нагрузках на сваю, например, в случае установки высоких опор освещения.

Кроме того, винтовые сваи различаются по количеству лопастей:

- однолопастные;
- двухлопастные;
- многолопастные.

Самым распространенным типом являются однолопастные сваи, когда лопасть наварена на конце труб. Такие сваи используются большинством производителей и застройщиков.

Однако в некоторых случаях усилия одной лопасти для достаточной устойчивости сваи может быть недостаточно. Поэтому сваи оснащены дополнительной лопастью, а то и двумя. Обычно их приваривают в центральной части винтовой сваи.

Конструкция винтовых свай многофункциональна: лопасти преобразуют крутящий момент в продольное перемещение при погружении, компенсируют горизонтальные усилия, обеспечивая стабильность геометрии.

Здания максимально разрешенной этажности (3 уровня с мансардой) в малоэтажном строительстве можно строить исключительно на многолопастных винтовых сваях. Для легких построек достаточно однолопастных модификаций с широким винтом либо узкой спиралью наконечника в зависимости от типа грунта.

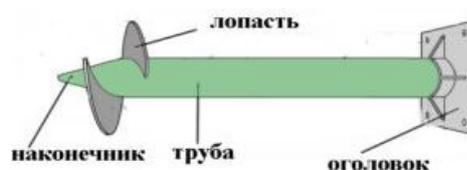
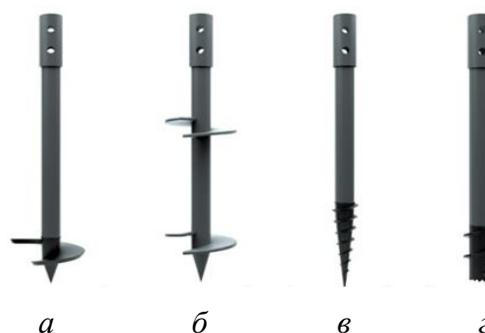


Рисунок 1 Конструкция винтовой сваи



а — широколопастная свая; б — многолопастная свая; в, г — узколопастные сваи

Рисунок 2 Разновидности винтовых свай

Несущую способность винтовой однолопастной сваи диаметром лопасти 1,2 м и длиной 10 м, работающей на вдавливающую или выдергивающую нагрузку, следует определять по формуле

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

где γ_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.

При других параметрах, в частности при двух и более лопастях, диаметре лопасти более 1,2 м и длине сваи более 10 м, действии горизонтальной силы или момента несущая способность сваи определяется только по данным испытаний сваи статической нагрузкой и результатам численных расчетов в нелинейной постановке с использованием апробированных моделей грунта.

Опираясь на требования норм к расчету винтовых однолопастных свай, ее несущая способность представляется как сумма сопротивлений грунта под лопастью и по боковой поверхности (рис. 3).

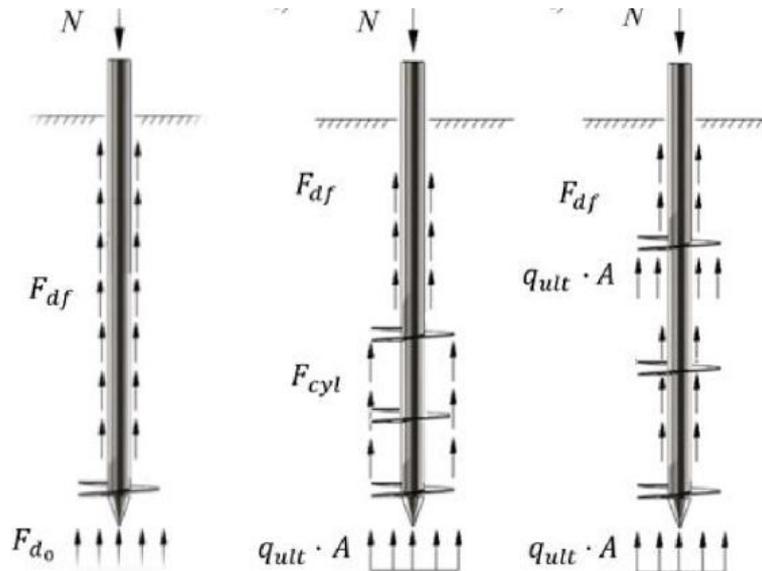


Рисунок 3 Расчетные схемы к определению несущей способности винтовых свай

Несущая способность лопасти винтовой сваи определяется по формуле

$$F_d = (\alpha_1 \cdot c_1 + \alpha_2 \cdot \gamma_1 \cdot h_1) \cdot A, \quad (2)$$

где α_1, α_2 — безразмерные коэффициенты, принимаемые в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения грунта в рабочей зоне φ_1 (под рабочей зоной понимается прилегающий к лопасти слой грунта толщиной, равной d); c_1 — расчетное значение удельного сцепления грунта в рабочей зоне, кПа; γ_1 — осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих выше лопасти сваи (при водонасыщенных грунтах с учетом взвешивающего действия воды), кН/м³; h_1 — глубина залегания лопасти сваи от природного рельефа, а при планировке территории срезкой — от уровня планировки, м; A — проекция площади лопасти, считая по наружному диаметру, при работе винтовой сваи на сжимающую нагрузку, м².

Несущая способность ствола винтовой сваи определяется по формуле

$$F_{df} = \gamma_c \cdot u \cdot f_i \cdot (h - d), \quad (3)$$

где γ_c — коэффициент условий работы сваи, зависящий от вида нагрузки, действующей на сваю, и грунтовых условий и определяе-

мый по таблице 7.9 СП 24.13330.2011; u — периметр поперечного сечения ствола сваи, м; f_i — расчетное сопротивление грунта на боковой поверхности ствола винтовой сваи, принимаемое по таблице 7.3 СП 24.13330.2011, кПа; h — длина ствола сваи, погруженной в грунт, м; d — диаметр лопасти сваи, м.

На основе исследований [3, 5] по изучению работы ствола винтовых свай установлено, что при вдавливающих нагрузках, действующих на сваю, сопротивление по ее стволу не может быть достигнуто по всей длине сваи из-за эффекта «разуплотнения» грунта над верхней лопастью. Поэтому для расчета принимается, что длина ствола сваи, которая участвует в работе, составляет величину $(h - d)$, где d — диаметр лопасти сваи, м.

Расчет несущей способности по грунту на вдавливающие и выдергивающие нагрузки ведется, по сути, по одной и той же формуле, отличающейся значением коэффициентов условий работы, предложенной на основе проведенных испытаний винтовых свай на вдавливающую и выдергивающую нагрузки. По результатам исследований соотношение между несущей способностью на вдавливание и выдергивание составляет $F_d = 1,3F_u$. Несущая спо-

способность винтовых однолопастных свай складывается из несущей способности грунта вдоль ствола F_{df} и несущей способности грунта в основании нижней лопасти сваи F_{d0} (рис. 3).

На основе исследований работы многолопастных свай и анкеров установлено, что расстояние между лопастями является важным параметром, характеризующим их работу. По результатам исследований работы винтовых свай-анкеров в слабых глинистых грунтах [6] были предложены две схемы для описания поведения свай в зависимости от расстояния между лопастями. При изучении работы винтовых анкеров длиной от 5 м и более установлено, что при близком расстоянии между лопастями (менее двух диаметров лопасти) грунт, заключенный между лопастями, начинает работать совместно со стволом сваи, мобилизуя силы трения по боковой поверхности образованного таким образом «грунтового цилиндра» (рис. 3).

Для численного исследования работы винтовых свай использован программный комплекс ЛИРА.

В качестве модели материала сваи принималась упругая модель. Моделирование выполнялось в трехмерной постановке в ПК ЛИРА для двухлопастных и однолопастных свай. Для моделирования массива грунта была составлена геометрическая модель размерами $3 \times 3 \times 6$, которая разбивалась на трех- и четырехмерные конечные элементы. На рисунке 4 представлена расчетная схема с разбиением на конечные элементы.

Модель сваи заглублена в полутвердую глину на 1,9 м.

В местах максимальной концентрации напряжений и значительных перемещений сетка конечных элементов имела более мелкое разбиение для повышения точности расчета (рис. 4).

Моделировались следующие виды воздействий:

– формирование природных напряжений (формирование начального напряженного состояния);

– пошаговое приложение к винтовой свае вертикального перемещения.

По результатам численных исследований несущей способности винтовых свай в различных инженерно-геологических условиях построены графики зависимости несущей способности винтовых свай от глубины погружения сваи в грунт (рис. 5–7). Расчетom установлено, что на увеличение несущей способности оказывают влияние как характеристики физического состояния грунта, так и глубина погружения сваи в грунт. При погружении сваи в песчаный грунт несущая способность сваи увеличивается в 2,3 раза при увеличении глубины погружения на 1 м (с 2 м до 3 м). Минимальная несущая способность сваи составляет 49 кН при погружении сваи в песок пылеватый. Максимальная несущая способность сваи составляет 110 кН при погружении сваи в песок средней крупности.

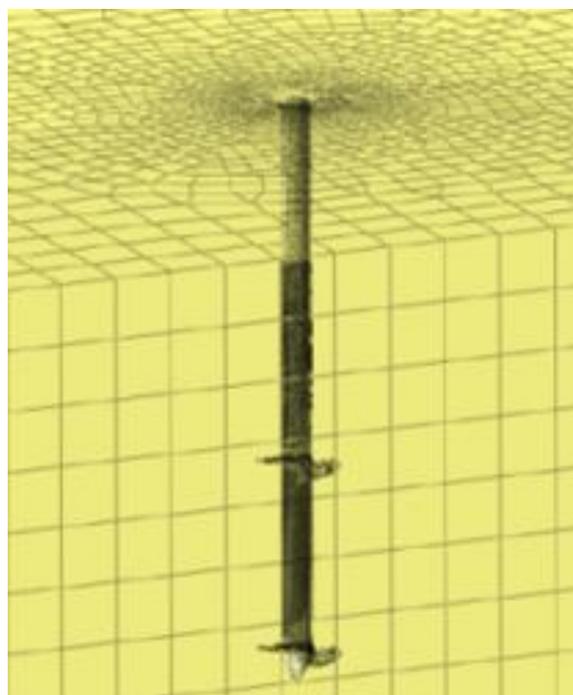


Рисунок 4 Расчетная схема винтовой двухлопастной сваи

На рисунках 5–7 приведен характер изменения несущей способности винтовых свай в зависимости от диаметра свай, глубины погружения сваи в грунт и типа грунта.

Численно установлено, что на увеличение несущей способности винтовой сваи оказывает существенное влияние глубина заделки сваи в грунт. Максимальная несущая способность у сваи диаметром 76 мм при заделке на глубину до 5 м в песок средней крупности составляет 133 кН. В случае погружения сваи в супесь пластичную несущая способность сваи снижается в 2 раза при той же глубине погружения (рис. 7).

Максимальная несущая способность сваи 110 кН наблюдается при погружении ее в песок средней крупности, а минималь-

ная 43 кН — при погружении в лессовые грунты (рис. 8). Однако с увеличением глубины погружения сваи в 2 раза (с 1,5 м до 3 м) несущая способность ее увеличивается в 2 раза в слабых лессовых грунтах и в 1,2 раза — в песках средней крупности.

Кроме того, установлено, что несущая способность винтовых двухлопастных свай длиной 3,0 м и диаметром лопасти 0,3 м в глинистых грунтах превышает несущую способность винтовых однолопастных свай на 28 %.

Таким образом, можно утверждать, что на несущую способность винтовых свай существенное влияние оказывают как геометрические параметры сваи (диаметр сваи, расстояние между лопастями), так и инженерно-геологические условия территории строительства.

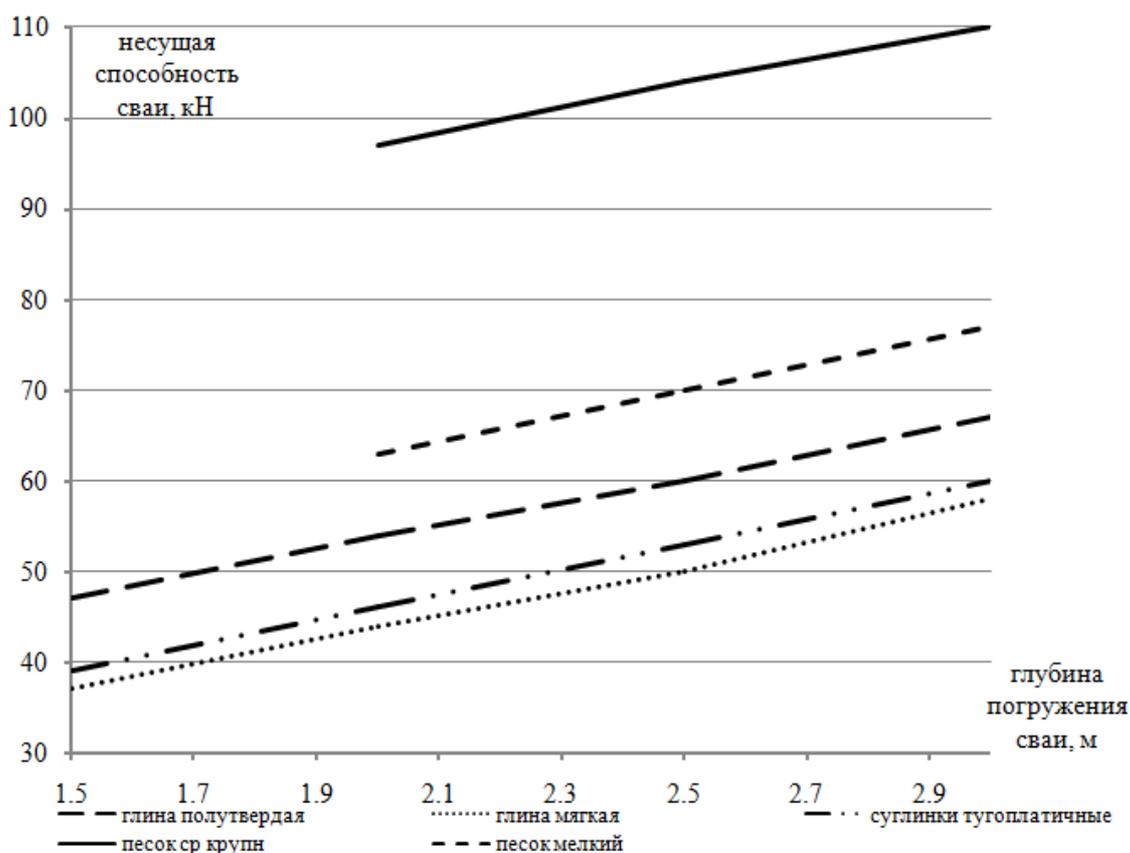


Рисунок 5 Изменение несущей способности винтовой сваи в различных инженерно-геологических условиях

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

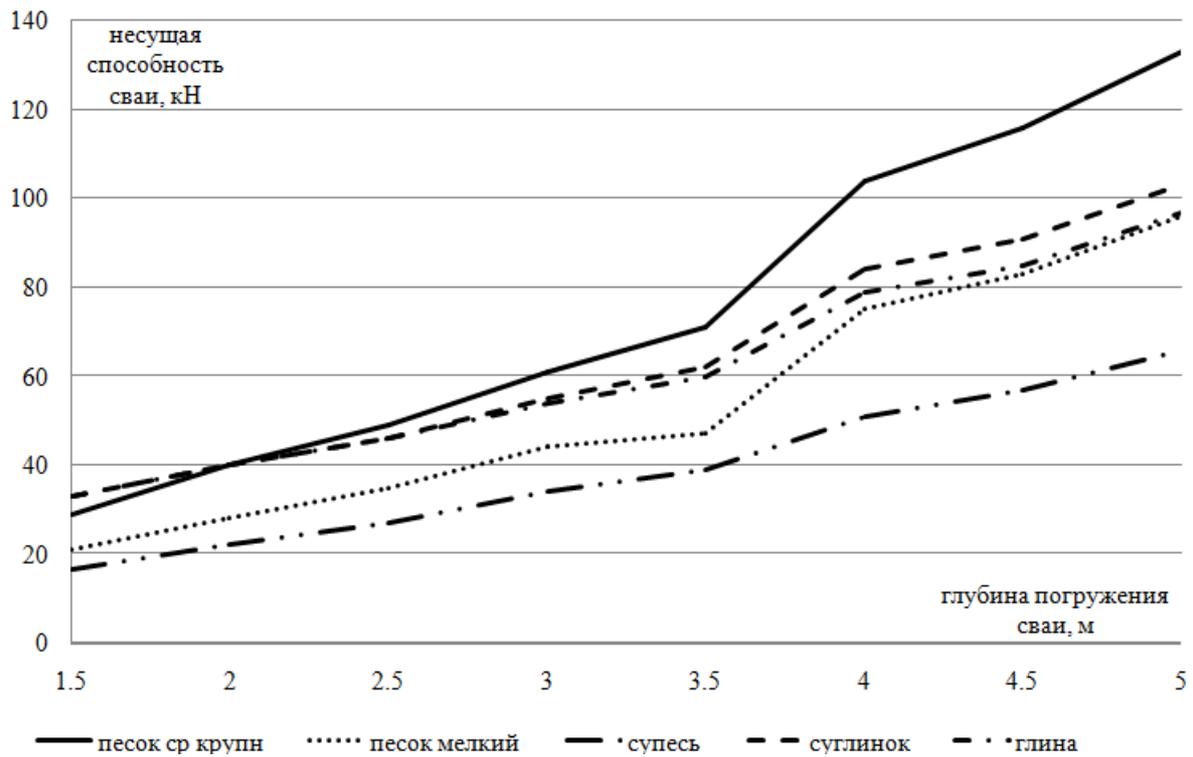


Рисунок 6 Изменение несущей способности винтовой сваи диаметром 89 мм в различных инженерно-геологических условиях

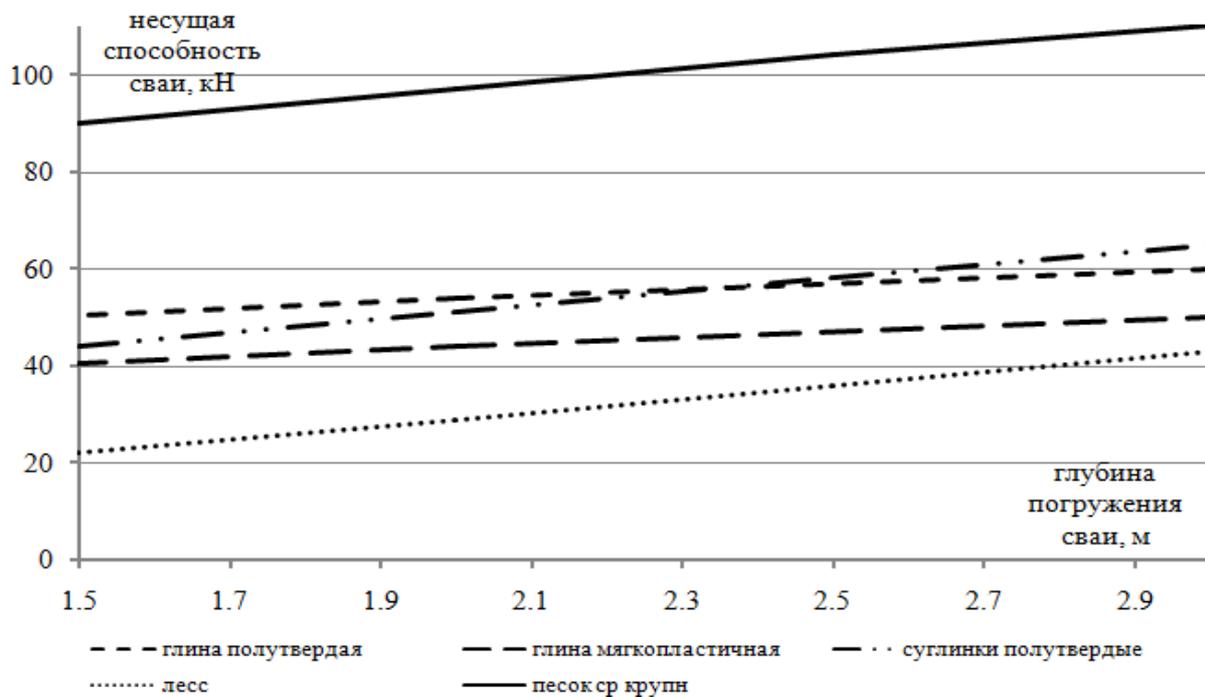


Рисунок 7 Изменение несущей способности винтовой сваи диаметром 76 мм в различных инженерно-геологических условиях

Выводы:

1. Несущая способность винтовой сваи зависит от трех основных параметров: диаметра трубы, ширины лопасти и глубины погружения в грунт.

2. При увеличении глубины погружения сваи в прочный грунт с 1,5 м до 5 м ее несущая способность увеличивается почти в 4,5 раза.

3. Численно установлено, что при длине винтовых свай до 3,0 м и диаметре ло-

пасти 0,3 м рациональное расстояние между лопастями в глинистых грунтах составляет 2,0...2,5 диаметра лопасти.

В статье приведены результаты исследования несущей способности только одно- и двухлопастных винтовых свай. Дальнейшие исследования будут направлены на исследование несущей способности винтовых свай с резьбовыми наконечниками.

Библиографический список

1. 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.

2. 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.

3. 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: <http://web.snauka.ru/issues>.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

© Емец Е. В.

© Карапетян С. Х.

Рекомендована к печати к.т.н., доц., зав. каф. АДиСК ДонГТИ Бондарчуком В. В., к.т.н., доц., зав. каф. СА ф-та экономики и бизнеса ЛГУ им. В. Даля Псюком В. В.

Статья поступила в редакцию 25.02.2022.

PhD in Engineering Emets E. V., Karapetyan S. Kh. (LSU named after V. Dahl, Alchevsk, LPR)
ASSESSMENT OF THE BEARING CAPACITY OF SCREW PILES OF VARIOUS DESIGNS IN LOAM SOILS

The work is devoted to the assessment of the bearing capacity of screw piles of various designs and the selection of an optimally acceptable pile design in specific engineering and geological conditions.

Key words: single- and double-bladed screw piles, stress-strain state, bearing capacity, finite element method.