

УДК 624.154

## О необходимости исследований работы винтовых свай и актуализации норм проектирования свайно-винтовых фундаментов

**Андрей Григорьевич АЛЕКСЕЕВ**, кандидат технических наук, зав. лабораторией механики мерзлых грунтов и расчета оснований, e-mail: adr-alekseev@yandex.ru

**Степан Георгиевич БЕЗВОЛЕВ**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: compgeo@yandex.ru

**Павел Михайлович САЗОНОВ**, младший научный сотрудник, e-mail: sazono-pm@yandex.ru

**Антон Андреевич ЗВЕЗДОВ**, инженер, e-mail: 89636885828@mail.ru

НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», 109428 Москва, 2-я Институтская ул., 6

**Аннотация.** Рассмотрены основные преимущества винтовых свай, которые применяются при строительстве фундаментов зданий и сооружений, в сравнении с классическими типами свайных фундаментов (забивные, буронабивные и т. д.). Представлена классификация винтовых свай, в том числе и многолопастных, в соответствии с СП 24.13330.2011\* (с изм. 1) «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты». Изложено состояние вопроса проектирования эффективных конструкций винтовых свай, свидетельствующее об актуальности этой научно-технической задачи в связи с недостаточной разработанностью строительных норм. На примере основных, обязательных к применению на территории России нормативных документов, регламентирующих проектирование и применение винтовых свай, рассматривается необходимость актуализации нормативной базы. Это связано с невозможностью эффективно проектировать фундаменты зданий и сооружений с использованием винтовых свай без разработки специальных технических условий и допроектной проработки конструктивных решений, в том числе и натурных полевых испытаний грунтов винтовыми сваями. Сформулированы насущные задачи экспериментальных и теоретических исследований взаимодействия винтовых свай с грунтовым массивом и основные направления гальнейшего изучения вопроса.

**Ключевые слова:** винтовые сваи, многолопастные сваи, свайные фундаменты, свайно-винтовые фундаменты.

## ABOUT NECESSITY OF INVESTIGATION OF SCREW PILES OPERATION AND ACTUALIZATION OF STANDARDS OF DESIGN OF SCREW PILE FOUNDATIONS

**Andrew G. ALEKSEEV**, e-mail: adr-alekseev@yandex.ru

**Stepan G. BEZVOLEV**, e-mail: compgeo@yandex.ru

**Pavel M. SAZONOV**, e-mail: sazono-pm@yandex.ru

**Anton A. ZVEZDOV**, e-mail: 89636885828@mail.ru

JSC Research Center of Construction, Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP) named after N. M. Gersevanov, 2-ya Institutskaya ul., Moscow 109428, Russian Federation

**Abstract.** Main and principal advantages of screw piles, which are used when constructing foundations of buildings and facilities, are considered in comparison with the classical types of pile foundations (driven, bored, etc.). The classification of screw piles, including multi-lapped piles, is presented in accordance with SP 24.13330.2011\* (Rev. 1) Updated version of "SNiP 2.02.03-85 Pile foundations" is presented. The present state of the issue of designing efficient structures of screw piles, indicating the relevance of this scientific-technical problem in connection with insufficient development of building codes is outlined. On the example of main building regulations, obligatory for using in Russia, which regulate the design and application of screw piles, the necessity of actualization of the normative base is considered. This is due to the inability to effectively design and use the foundations of buildings and structures with the use of screw piles without the development of STC (special technical conditions), and pre-design development of constructive solutions, including field testing of soils with screw piles. The vital problems of experimental and theoretical studies of the interaction of screw piles with a soil massif, and the main directions of further study of this issue are formulated.

**Key words:** screw piles, multi-lapped piles, pile foundations, screw pile foundations, foundations.

Применение инновационных и технологичных фундаментов в строительстве является важной научно-технической задачей. К таким фундаментам, безусловно, относятся современные винто-

вые сваи (ВС). Часто использование ВС — единственный способ фундирования при строительстве в стесненных условиях при необходимости минимизировать влияние на примыкающие и близра-

сположенные здания. Такие ситуации регулярно возникают при реконструкции действующих предприятий и в других случаях, когда дополнительные сооружения пристраиваются к уже функ-

ционирующим, зачастую в зонах с ограничениями по площади и высоте (рис. 1).

Винтовые сваи обладают такими индустриальными преимуществами, как возможность установки практически в любых погодных условиях и труднодоступных районах; быстрота установки и эффективная логистика. К достоинствам ВС относятся также минимум земляных работ и «мокрых» процессов (применяемых в редких случаях лидерного бурения и заполнения полого вала бетоном, полимерными растворами и пр.), благоприятное уплотнение грунтов природного массива; минимум динамических воздействий, что в том числе обеспечивает преимущество по минимальности срока требуемого «отдыха» до приложения рабочей нагрузки на сваи и др. Кроме того, ВС обеспечивают контролируемое прохождение (прорезку) сваями слоев слабых и неустойчивых грунтов с конечным фиксированием лопастей ВС в прочных слабосжимаемых грунтах.

Погружение ВС осуществляется с использованием гидромоторов, позволяющих обеспечить необходимое крутящее усилие, которые могут быть установлены на любую строительную технику с гидравлическим приводом. Это позволяет использовать различную технику и оптимально учитывать конкретные условия выполнения работ.

Эффективная работа ВС на выдергивающие и горизонтальные нагрузки позволяет их использовать на площадках, сложенных влажными пылевато-глинистыми грунтами, где действуют значительные силы морозного пучения, а также на сооружениях, передающих значительные горизонтальные и моментные нагрузки на фундаменты. Такие площадки и сооружения (трубопроводы, мачты и другие транспортные и промышленные соору-



Рис. 1. Строительство в стесненных условиях

жения) широко распространены в районах Крайнего Севера.

Следовательно, интересные и рациональные элементы системы геотехнических инструментов можно применять для разработки эффективных конструкций фундаментов в сложных геотехнических условиях.

Основные типы ВС, получившие наибольшее распространение в России, представлены на рис. 2. Усовершенствованные конструкции (см. рис. 2а-в, д, е) в зависимости от грунтовых условий обладают определенными преимуществами по сравнению с обычным типом (см. рис. 2г). Например, многовитковая узколопастная усеченная стальная конструкция (см. рис. 2а) обеспечивает вертикальность прохождения грунтов с каменистыми включениями, одно- и многовитковые винтовые сваи (см. рис. 2а-в) позволяют заглубляться в многолетнемерзлые грунты (ММГ). Следует отметить, что переменный диаметр лопастей конструкции (см. рис. 2а, е) обеспечивает лучшую сохранность природной структуры грунтового массива по сравнению с многолопастными ВС с постоянным диаметром лопастей.

Существующая в нашей стране

нормативная база нуждается в актуализации для эффективного и надежного проектирования и устройства винтовых свай. В частности, в действующих нормах СП 24.13330.2011\* (с изм. 1) «Свайные фундаменты» (далее — СП) приведена в значительной мере устаревшая, частная эмпирическая методика для расчета несущей способности ВС обычной конструкции (см. рис. 2г) с длиной ствола (трубы, вала) сваи до 10 м, с одной, расположенной у ее острия, лопастью (спиралью) диаметром  $D$  до 1,2 м, заглубленной в грунт не менее чем на  $5D$  при глинистых грунтах и  $6D$  — при песках.

Ограниченная применимость данной эмпирической методики обусловлена узким диапазоном типоразмеров ВС, экспериментально исследованных в начале 1960-х гг. [1], а также ее калибровке применительно к методике норм проектирования СНиП II-Б.5-62. При определении эмпирического коэффициента  $A$  (коэффициент  $B$  не имеет самостоятельного значения, так как рассчитывается по  $A$ ) несущей способности грунта под лопастью ВС калибровка проводилась с вычетом табличной несущей способности грунта по боковой поверхности забивной сваи, а за фактическую (экспериментально установленную) величину общей несущей способности испытанных ВС принималось опытное сопротивление сваи при ее осадке  $0,1D$ . Этот способ, вероятно, согласовывался с требованием СНиП II-Б.5-62 принимать при статических испытаниях предельное сопротивление сваи по грунту по критерию «резкого возрастания деформаций при малом увеличении нагрузки». Однако в следующей редакции норм проектирования свайных фундаментов СНиП II-Б.5-67 этот критерий был изменен на более консервативный способ определения предельного

сопротивления испытательной сваи по ее осадке, равной  $0,1S_u$  (где  $S_u$  — предельно допустимая осадка свайного фундамента, не превышающая 10 см).

В СП регламентируется несколько более рациональная величина предельной осадки одиночной сваи, равная  $0,2S_u$ , не более 40 мм. Между тем приведенная в СП методика расчета несущей способности ВС никак не учитывает указанные изменения [1].

Совпадающая по существу с нормативной методика расчета ВС по грунту приведена в монографии [2], сыгравшей решающую роль в широком внедрении в строительную практику отечественных конструкций ВС.

Состояние проектирования ВС за рубежом представлено в специализированном справочнике [3]. Несмотря на большой объем исследований и достижения по разработке различных конструкций ВС, по вопросу разработки единого или систематизированного комплексного инженерного расчета несущей способности ВС зарубежный геотехнический опыт пока находится в стадии накопления данных.

Возвращаясь к отечественной практике, отметим, что для свай, которые не попадают в область применения расчетной методики [1], СП требует проведения натурных испытаний ВС статической нагрузкой. Между тем в ГОСТ 5686—2012 «Грунты. Методы полевого испытания сваями» отсутствуют требования к статическим испытаниям ВС на выдергивание (стальные ВС выведены за область применения регламентирующих испытания на выдергивание гл. 8.5). Это значительно затрудняет проектирование ВС, одним из главных преимуществ которых является эффективная работа как на вдавливающую, так и на выдергивающую и горизонтальные нагрузки.

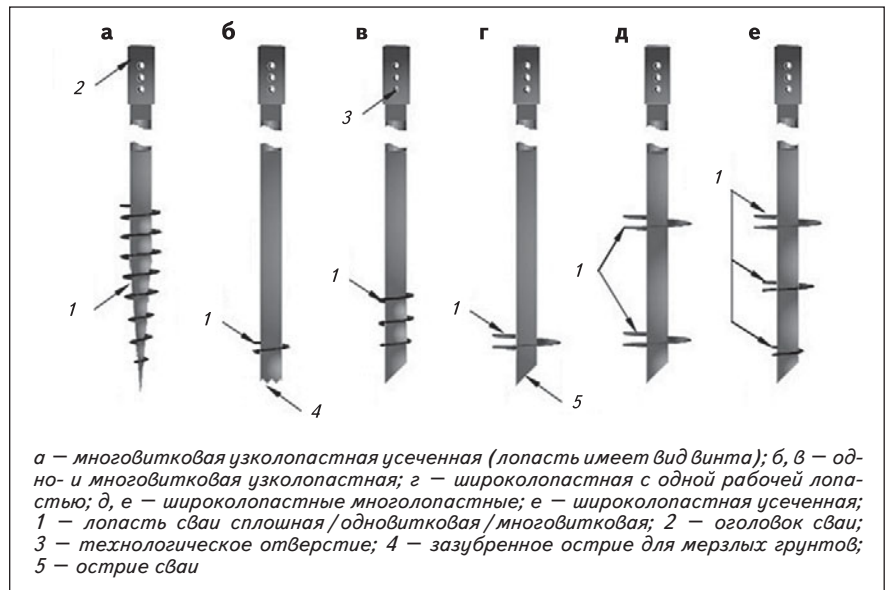


Рис. 2. Виды стальных винтовых свай согласно СП 24.13330.2011\*

В этой связи при актуализации норм для регламентации испытаний ВС на выдергивание представляет интерес учет опыта применения таких конструкций в США, Канаде и ряде других стран в соответствии со стандартом ASTM D 3689 [4]. В измененной редакции № 1 СП 25.13330.2012 «СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» приведены требования к устройству ВС, однако методики и правила проектирования с применением ВС полностью отсутствуют.

Перечисленные недоработки в действующих нормативных документах весьма затрудняют проектирование усовершенствованных конструкций винтовых свай. В действующем СП полностью отсутствуют указания по расчету осадок фундаментов из ВС. Для применения таких конструкций, опирающихся на плотные талые и многолетнемерзлые грунты, как правило, необходимо устройство лидерной скважины. При этом возникают дополнительные вопросы о влиянии устройства лидерной скважины на разуплотнение и растепление грунтов в процессе завинчивания

ВС, на ее несущую способность и жесткость при нагружении.

Необходимо также отработать технологию устройства и методику расчета ВС для минимизации разрыхления грунтов из-за прорезки грунта лопастями, особенно при их прокручивании на одном месте и т. д. [5, 6]. Кроме того, интерес представляет рационализация расчета бокового обжатия грунта при расклинивающем проникании ствола ВС.

В этой связи с учетом требований Градостроительного кодекса РФ и ФЗ от 30.12.2009 г. № 384 «Технологический регламент по безопасности зданий и сооружений» в большинстве случаев применения ВС требуется разработка и согласование индивидуальных специальных технических условий (СТУ), что весьма ощутимо удорожает и затягивает проектирование. Создавшаяся ситуация и опыт НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство» по разработке СТУ [7] свидетельствуют о необходимости создания актуальной методики для расчета несущей способности и осадок фундаментов, устраиваемых с использованием ВС.

При разработке этой методи-

ки следует учесть отечественный и зарубежный опыт расчетов ВС в научно-технической практике. На наш взгляд, перспективной является методика расчета несущей способности грунтового основания лопасти ВС на базе теории предельного равновесия [8, 9] и др. Отметим, что полученные по решению [8] таблицы рекомендованы в СП для расчета основания уширения буровых свай. В свою очередь, для разработки методики расчета осадок ВС целесообразно адаптировать методику п. 7.4.2 СП (формула (7.36) или получившее мировое признание аналитическое решение [10], позволяющее учитывать уширение пяти свай.

При расчете осадок и конструкций свайных фундаментов существенное значение имеет разработка методики учета группового эффекта [11]. Актуальность этого вопроса в случае фундаментов на ВС еще выше из-за дополнительного распределительного влияния лопастей.

Важное направление в исследовании взаимодействия винтовых свай с грунтами — математическое моделирование на основе современных программных комплексов, например, разработанного в соответствии с Еврокодом 7 ПК «PLAXIS», который позволяет использовать усовершенствованные упругопластические модели грунтов. Весьма эффективно проведение моделирования результатов полевых испытаний ВС статической нагрузкой. При этом проводится сопоставление напряженно-деформируемого состояния грунтов, в том числе его несущей способности и осадок свай. Полученные данные будут положены в основу разработки нормативной инженерной методики для проектирования свайно-винтовых фундаментов. В случае многолетнемерзлых грунтов представляет интерес моде-

лирование их теплового взаимодействия с ВС с учетом влияния устройства лидерной скважины.

Исследования взаимодействия винтовых свай с грунтами должны состоять из полевых испытаний ВС статической вдавливающей, выдергивающей и горизонтальной нагрузками. Испытания необходимо проводить для каждого типа размера свай минимум с двукратной повторяемостью, а желательно — с шестикратной, позволяющей проводить рациональную статистическую обработку данных. Также следует выполнять испытания ВС, при которых вал свай исключается из ее работы.

Площадка исследования должна быть представлена характерными грунтами (песчаные, пылевато-глинистые, их характерные комбинации и др.) с однородным разрезом по глубине, превышающим длину свай не менее чем на 10 диаметров лопасти и не менее половины длины свай. Испытания следует осуществлять по специально разработанной программе, позволяющей определить предельную нагрузку на основание или предельную несущую способность, оценить долю сопротивления грунта по боковой поверхности ствола свай, получить графики зависимости осадки от нагрузки. Значение предельного выхода и осадки как критерия прекращения испытания должно определяться в зависимости от конструкции свай и грунтовых условий.

В рамках исследовательских работ рекомендуется проводить лотковые испытания масштабированных к натурной свае лабораторных моделей ВС. Для этого надо разработать испытательный стенд с возможностью приложения вертикальных вдавливающих и выдергивающих усилий, а также горизонтальных, передающих ступени нагрузки на модель свай равномерно и без рывков.

Кроме того, необходимо ре-

шить проблему долговечности материала свай, а также сварного соединения лопасти и ствола свай. Для этого следует провести исследования по выбору состава стали свай для их безаварийной эксплуатации в различных грунтах, особенно в агрессивных к металлу. Также требуется разработать систему покрытий, способных обеспечить антикоррозионную защиту свай в агрессивных грунтах, которые устойчивы к механическому воздействию при завинчивании.

Создание рациональной и надежной методики расчета ВС, а также эффективных конструктивных требований по проектированию ВС для широкого диапазона грунтовых условий и ее включение в действующие нормативные документы будут способствовать увеличению объемов эффективного внедрения ВС в нашей стране, что приведет к росту технико-экономических показателей строительной отрасли в целом.

#### Вывод

Применение современных конструкций ВС позволит снизить стоимость строительства объектов, расположенных в сложных инженерно-геологических условиях в удаленных районах России. Для эффективного использования ВС необходимо разработать нормативные методики их расчета по несущей способности и деформациям, а также конструктивные требования по проектированию свайно-винтовых фундаментов.

Разработка методики расчета должна базироваться на исследованиях, состоящих из полевых испытаний свай вдавливающей, выдергивающей и горизонтальной нагрузками, лотковых испытаний, а также математического моделирования с использованием апробированных геотехнических расчетных комплексов.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Трофименков Ю. Г., Мариупольский Л. Г. Винтовые сваи в качестве фундаментов мачт и башен линий передач // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1964. № 4. С. 15–19.
2. Железков В. Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства. СПб : Прагма, 2004. 150 с.
3. Perko H. A. Helical piles: a practical guide to design and installation [Винтовые сваи: Практическое руководство по проектированию и монтажу]. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons, 2009. 511 p.
4. ASTM D 3689-90 (Reapproved 1995). Standard test method for individual piles under static axial tensile load [Стандартный метод испытания для отдельных свай под статической осевой растягивающей нагрузкой] // Annual Book of ASTM Standard. 1997. Vol. 04.08. Pp. 366–375.
5. Алексеев А. Г., Звездов А. А. Устройство винтовых свай в многолетнемерзлых грунтах // Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Современные технологии проектирования и строительства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах». М., 2016. С. 27–31.
6. Алексеев А. Г., Звездов А. А., Шуганов И. Н., Анисимов Д. Ю. Комплексные исследования многолопастных винтовых свай в условиях многолетнемерзлых грунтов // Тезисы к докладам XI Международного симпозиума по проблемам инженерного мерзлотоведения. Якутск, 2017. С. 189.
7. СТУ по проектированию с применением многолопастных стальных винтовых свай СИНТЕК фундаментов зданий Западно-Сибирского комплекса глубокой переработки углеводородного сырья с соответствующими объектами общезаводского хозяйства / ООО «СТИ»; ОАО «НИЦ «Строительство». М., 2014.
8. Березанцев В. Г. Расчет прочности оснований сооружений. Л. : Госстройиздат, 1960. 139 с.
9. Терцаги К. Теория механики грунтов / пер. с нем. М. : Госстройиздат, 1961. 507 с
10. Randolph M. F., Wroth C. P. Analysis of deformation of vertically loaded piles [Анализ деформации вертикально нагруженных свай] // Journal of the Geotechnical Engineering Division. 1978. Vol. 104. No. 12. Pp. 1465–1488.
11. Безволев С. Г. Проблемы проектирования и расчета фундаментов при применении больших групп свай и других вертикальных элементов преобразования грунтового массива // Геотехника. 2011. № 3. С. 30–67.

## REFERENCES

1. Trofimenkov Yu. G., Mariupol'skiy L. G. Screw piles as foundations for masts and towers of transmission lines. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov*, 1964, no. 4, pp. 15–19. (In Russian).
2. Zhelezkov V. N. *Screw piles in the energy and other sectors of the construction*. St. Petersburg, Pragma Publ., 2004. 150 p. (In Russian).
3. Perko H. A. *Helical piles: a practical guide to design and installation*. Hoboken (New Jersey), John Wiley & Sons, 2009. 511 p.
4. ASTM D 3689-90 (Reapproved 1995). Standard test method for individual piles under static axial tensile load. *Annual Book of ASTM Standard*, 1997, vol. 04.08, pp. 366–375.
5. Alekseev A. G., Zvezdov A. A. Device screw piles in permafrost soils. *Proc. konf. «Sovremennye tekhnologii proektirovaniya i stroitel'stva fundamentov na mnogoletnemerzlykh gruntakh»* [Modern technologies of design and construction of foundations on permafrost soils]. Moscow, 2016, pp. 27–31. (In Russian).
6. Alekseev A. G., Zvezdov A. A., Shuganov I. N., Anisimov D. Yu. A comprehensive study of multi-blade screw piles in the conditions of permafrost soils. *Tezisy k dokladam XI Mezhdunarodnogo simpoziuma po problemam inzhenernogo merzlotovedeniya*. Yakutsk, 2017, p. 189. (In Russian).
7. STC design with the use of multiblade steel screw piles SINTEK building foundations of the West Siberian complex deep processing of hydrocarbon raw material with appropriate common facilities. STI; ОАО NITS «Stroitel'stvo». Moscow, 2014. (In Russian).
8. Berezantsev V. G. *Raschet prochnosti osnovaniy sooruzheniy* [Strength calculation of bases of structures]. Leningrad, Gosstroyizdat Publ., 1960. 139 p. (In Russian).
9. Tertsagi K. *Teoriya mekhaniki gruntov* [The theory of soil mechanics]. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1961. 507 p. (In Russian).
10. Randolph M. F., Wroth C. P. Analysis of deformation of vertically loaded piles. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 1978, vol. 104, no. 12, pp. 1465–1488.
11. Bezvolev S. G. Problems of design and analysis of foundations when large groups of piles and other vertical elements convert the soil massif. *Geotekhnika*, 2011, no. 3, pp. 30–67. (In Russian).

Для цитирования: Алексеев А. Г., Безволев С. Г., Сазонов П. М., Звездов А. А. О необходимости исследований работы винтовых свай и актуализации норм проектирования свайно-винтовых фундаментов // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 1. С. 43–47.

For citation: Alekseev A. G., Bezvolev S. G., Sazonov P. M., Zvezdov A. A. About Necessity of Investigation of Screw Piles Operation and Actualization of Standards of Design of Screw Pile Foundations. *Proyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2018, no. 1, pp. 43–47. (In Russian).