

Секция 2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

УДК 624.154.53; 624.154.8

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-158-167

СРАВНЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ ВЫТЕСНЕНИЯ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО РАЗНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

**А. В. Савинов¹, В. Э. Фролов², А. В. Бондаревский², Ю. Н. Бровиков²,
А. С. Сбиритов², А. Ю. Колесников³, Е. В. Бойков³**

¹ООО НППП «ГЕОТЕХНИКА-СПИ», г. Саратов, Россия,

²ЗАО «Геотехника-С», г. Саратов, Россия,

³Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина,
г. Саратов, Россия

Аннотация. Рассмотрены существующие технологии изготовления свай вытеснения. Отмечена и изучена развивающаяся технология образования свай вытеснения Геотехника-С (СВГС). Целью экспериментальных исследований было проведение сопоставительного анализа параметров процесса изготовления свай по технологии СВГС со сваями, изготовленными по классической технологии «Фундекс», а также сравнение результатов определения несущей способности свай СВГС и свай «Фундекс» по СП 24.13330.2021. Экспериментальные исследования проводились на объекте, расположенном в г. Энгельсе Саратовской области, для чего было выполнено четыре сваи. После «отдыха» пробных свай не менее 28 суток, до устройства рядовых свай, проведены статические испытания по ГОСТ 5686-2020. Проведено сопоставление результатов натурных испытаний свай «Фундекс» и СВГС с расчетными значениями их несущей способности. Сделаны выводы о том, что сваи СВГС позволяют добиться 100% использования прочности материала сваи, так как их несущая способность по грунту превышает прочность по материалу сваи на сжатие. Таким образом, выполненные по технологии ЗАО «Геотехника-С» сваи СВГС имеют большие перспективы для их широкого применения и требуют дальнейших исследований.

Ключевые слова: свайный фундамент, несущая способность, свая вытеснения, винтовой шнек, теряемый наконечник, разуплотненный грунт

COMPARISON OF THE BEARING CAPACITY OF DISPLACEMENT PILES MANUFACTURED USING DIFFERENT TECHNOLOGIES

**A. V. Savinov¹, V. E. Frolov², A. V. Bondarevsky², Yu. N. Brovnikov²,
A. S. Sbiritev², A. Y. Kolesnikov³, E. V. Boykov³**

¹ООО NPPP «GEOTEKHNIKA-SPI», Saratov, Russia,

²ZAO «Geotekhnika-S», Saratov, Russia,

³Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

Annotation. The article examines existing displacement pile manufacturing technologies. The developing technology for the formation of Geotechnica-S displacement piles (SVGS) is highlighted and studied. The objective of the experimental studies was to conduct a comparative analysis of the pile manufacturing process parameters using the SVGS technology with piles manufactured using the classic Fundex technology, as well as to compare the results of determining the bearing capacity of SVGS and Fundex piles according to SP 24.13330.2021.

The experimental studies were conducted at a site located in Engels, Saratov Region, for which four piles were produced. After a "rest" of at least 28 days, static tests were conducted in accordance with GOST 5686-2020 before the installation of ordinary piles. The results of full-scale tests of Fundex and SVGS piles are compared with the calculated bearing values. It was concluded that SVGS piles allow for 100% utilization of the pile material's strength, as their soil-bearing capacity exceeds the pile material's compressive strength. Therefore, SVGS piles manufactured using Geotekhnika-S's technology hold great promise for widespread use and require further research.

Keywords: pile foundation, bearing capacity, displacement pile, screw auger, lost tip, loose soil

Введение

Набивные сваи вытеснения получают все большее распространение в строительстве на территории Российской Федерации, особенно в слабых и водонасыщенных грунтах. На практике встречаются различные технологии устройства набивных свай, обусловленных конструкцией бурового оборудования и инструмента:

- сваи, изготавливаемые с использованием спиралевидных снарядов (DDP) [1];

- сваи «Атлас», изготавливаемые с помощью режущего наконечника, нижний конец которого закрыт оставляемым в грунте башмаком [1];

- сваи «Фундекс», изготавливаемые завинчиванием с одновременным вдавливанием в грунт полый гладкой обсадной трубы с теряемым башмаком [1];

- сваи вытеснения Геотехника-С (СВГС), изготавливаемые по технологии, запатентованной ЗАО «Геотехника-С», г. Саратов [2, 3].

При устройстве СВГС в процессе образования скважины и вдавливания с вращением обсадной трубы с наконечником происходит вытеснение и уплотнение грунта в радиальном направлении. В результате образуется скважина диаметром, соответствующим диаметру основания теряемого башмака. После прохождения основания конуса наконечника происходит незначительное уменьшение диаметра скважины, разгрузка и частичное разуплотнение ранее уплотненного грунта на контакте «стенка скважины – обсадная труба». Образовавшийся разуплотненный водонасыщенный грунт вдоль внешней поверхности трубы транспортируется из скважины плоскими лопастями винтового шнека при его извлечении. Технологическая последовательность операций по устройству свай СВГС показана на рис. 1.

Таким образом, в результате применения обсадной трубы, имеющей винтовой шнек с лопастями плоской формы и заданными размерами, можно возводить сваи с диаметром, равным диаметру винтового шнека. При этом сваи СВГС имеют более высокую несущую способность за счет уплотнения стенок скважины, извлечения разуплотненного водонасыщенного грунта и заполнения образованной полости бетонной смесью.

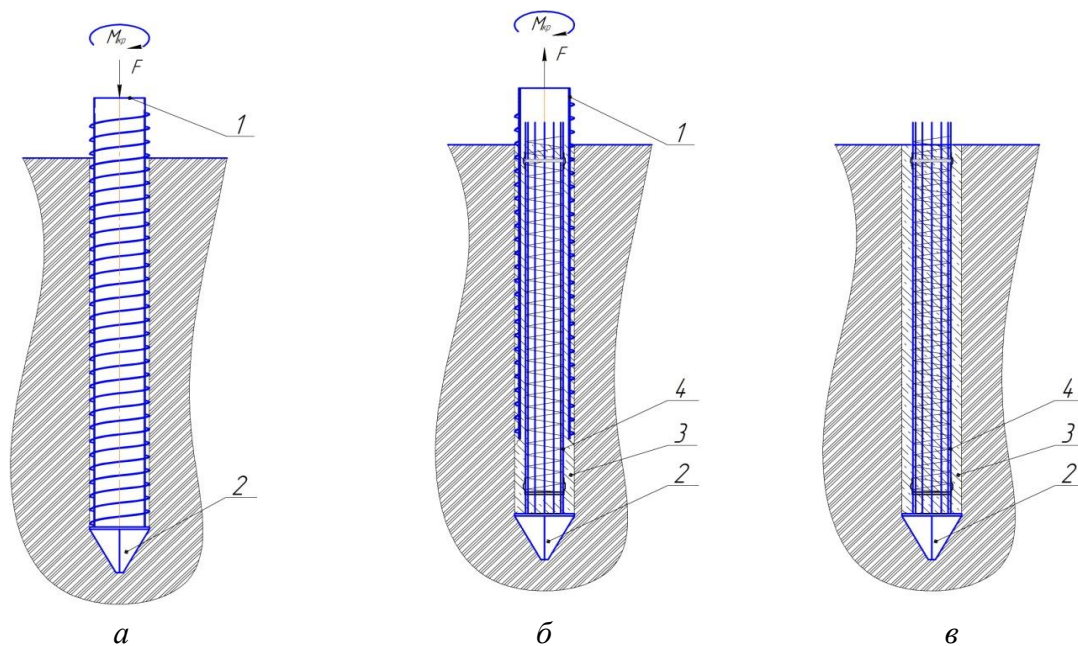


Рис. 1. Технологическая последовательность устройства свай СВГС:

а – погружение обсадной трубы с винтовым шнеком и башмаком до проектной отметки; *б* – установка каркаса и извлечение обсадной трубы с винтовым шнеком с удалением разуплотненного грунта вдоль его боковой поверхности и одновременным бетонированием ствола свай; *в* – готовая свая; 1 – обсадная полая труба со спиральной навивкой (винтовой шнек); 2 – теряемый наконечник (башмак); 3 – бетонная смесь; 4 – арматурный каркас

Формирование скважины может быть осуществлено в любых грунтовых условиях. После формирования скважины в нее опускают арматурный каркас и бетонируют с извлечением обсадной трубы (рис. 1).

Цель экспериментальных исследований — проведение сопоставительного анализа параметров процесса изготовления свай по технологии СВГС со сваями, изготовленными по классической технологии «Фундекс», а также сравнение результатов определения несущей способности свай СВГС и свай «Фундекс» по СП [4] с их фактической несущей способностью, полученной по данным контрольных полевых испытаний грунтов сваями статической нагрузкой.

Изготовление свай

Экспериментальные исследования проводились на объекте, расположенном по адресу: ул. Трудовая, д. 12 в г. Энгельсе Саратовской области. Для строительства 25-этажного здания проектом было предусмотрено изготовление свай «Фундекс» диаметром 450 мм, длиной 12,0 м с использованием теряемого наконечника диаметром 545 мм (марка 6Е) с проектной нагрузкой на сваю $N = 110$ т. В качестве несущего слоя служил мелкий песок средней плотности (ИГЭ № 3). Общее количество свай по проекту — 264 шт. Расстояния между центрами свай — 1,6 м. Бетон свай — В25, W6, П4. План свайного поля приведен на рис. 2.

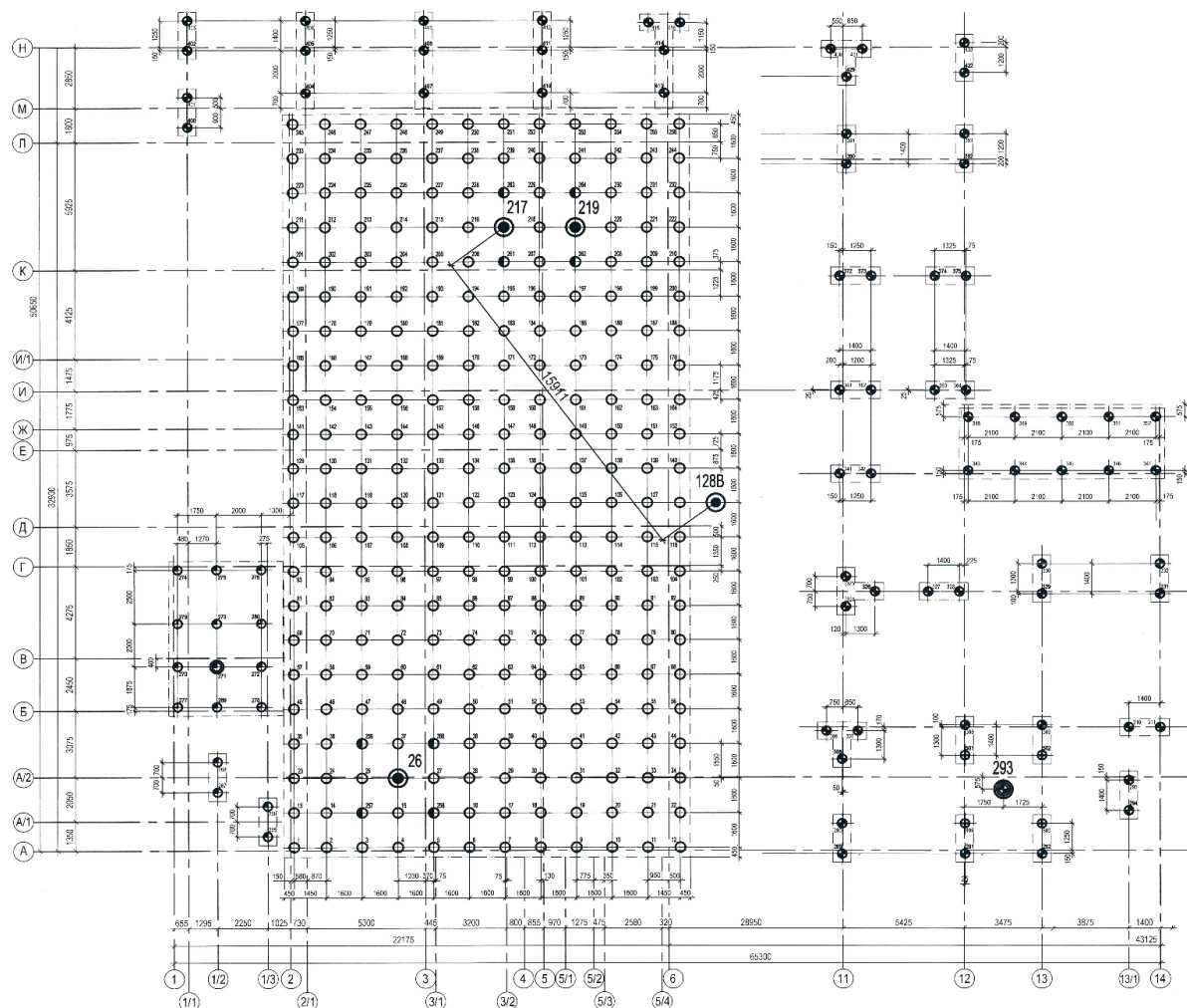


Рис. 2. Расположение испытуемых свай на плане свайного поля

В процессе реализации данного проекта в 2022 г. при устройстве пробных свай «Фундекс» не удалось выполнить испытуемую сваю № 219 проектной длиной 12,0 м, т. к. в ходе производства работ установлено следующее:

- при прохождении мелких песков средней плотности ниже отметки минус 10,0 м от дна котлована резко упала скорость погружения обсадной трубы;
- на глубине 11,5 м от дна котлована проходка остановилась. При работе буровой установки в течение двух часов погружение трубы составило 10 см. Произошел «отказ»;
- было принято решение об армировании и бетонировании сваи при фактически полученной длине 11,6 м, вместо проектных 11,9 м (от дна котлована);
- при этом ранее изготовленные анкерные сваи (тоже типа «Фундекс»), расположенные друг от друга на расстоянии удвоенного шага, были успешно выполнены проектной длины (до отметки минус 11,9 м от дна котлована);

- сложности с устройством свай проектной длины, описанные выше, свидетельствуют, очевидно, об уплотнении массива грунта при устройстве анкерных свай «Фундекс»;
- перед началом бетонирования свай пришлось ждать остывания трубы до температуры $t \approx 20\text{ }^{\circ}\text{C} - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение часа;
- общее время изготовления свай составило 4 часа;
- расход бетона на сваю составил 105 % от геометрического объема свай;
- у одной из анкерных свай наблюдалось «гейзерение» после бетонирования.

Стоит отметить, что возникшие проблемы уже встречались при устройстве свай «Фундекс» и были описаны у других авторов [3, 5–9]. На основе полученных результатов ЗАО «Геотехника-С» предложило применить вместо свай «Фундекс» сваи СВГС [2, 10] аналогичного диаметра и длины.

Были выполнены пробные сваи СВГС диаметром 450 мм с использованием теряемого наконечника диаметром 465 мм (марка 4Е). Для получения реальной картины изменения несущей способности свай с разной глубиной погружения в несущий слой, длины изготовленных свай варьировались (рис. 2 и 3):

- свая № 26 длиной 11,0 м с отм. низа ростверка 17,22 м;
- свая № 217 длиной 12,0 м с отм. низа ростверка 17,22 м;
- свая № 293 длиной 13,0 м с отм. поверхности планировки 20,55 м.

Грунтовые условия на площадке однородные. Характеристики слоев грунта представлены в табл. 1.

Таблица 1. Общая характеристика слоев грунта основания

Номер слоя	Характеристика грунта
1	Насыпной грунт – техногенно перемещенные грунты, представляющие собой смесь глины, строительного мусора, щебня и почвы. Мощность слоя от 2,8 до 3,0 м
2	Песок серовато-желтого цвета, мелкий, средней плотности, малой степени водонасыщения, с прослойками песка пылеватого мощностью слоя до 0,1 м Мощность слоя от 3,6 до 4,4 м
3	Песок серовато-желтого цвета, мелкий, средней плотности, водонасыщенный, с прослойками песка пылеватого мощностью слоя до 0,1 м. Мощность слоя от 6,8 до 9,0 м

В качестве несущего слоя свай СВГС служил мелкий песок средней плотности (ИГЭ № 3) (рис. 3).

В процессе изготовления свай СВГС наблюдалось следующее:

- скорость проходки скважины существенно возросла по сравнению со сваями «Фундекс» и составила в среднем 1,0 м/мин. Бурение одной сваи занимало 11–12 мин;

- все сваи доходили до проектных отметок;
- нагрев трубы выше 30 °С не наблюдался;
- затекание подземной воды в трубу не зафиксировано;
- общее время изготовления свай, включая проходку скважины, армирование, бетонирование, переезд установки составило в среднем 25–30 мин.
- ни одна свая за время изготовления всего свайного поля не «гейзерила».

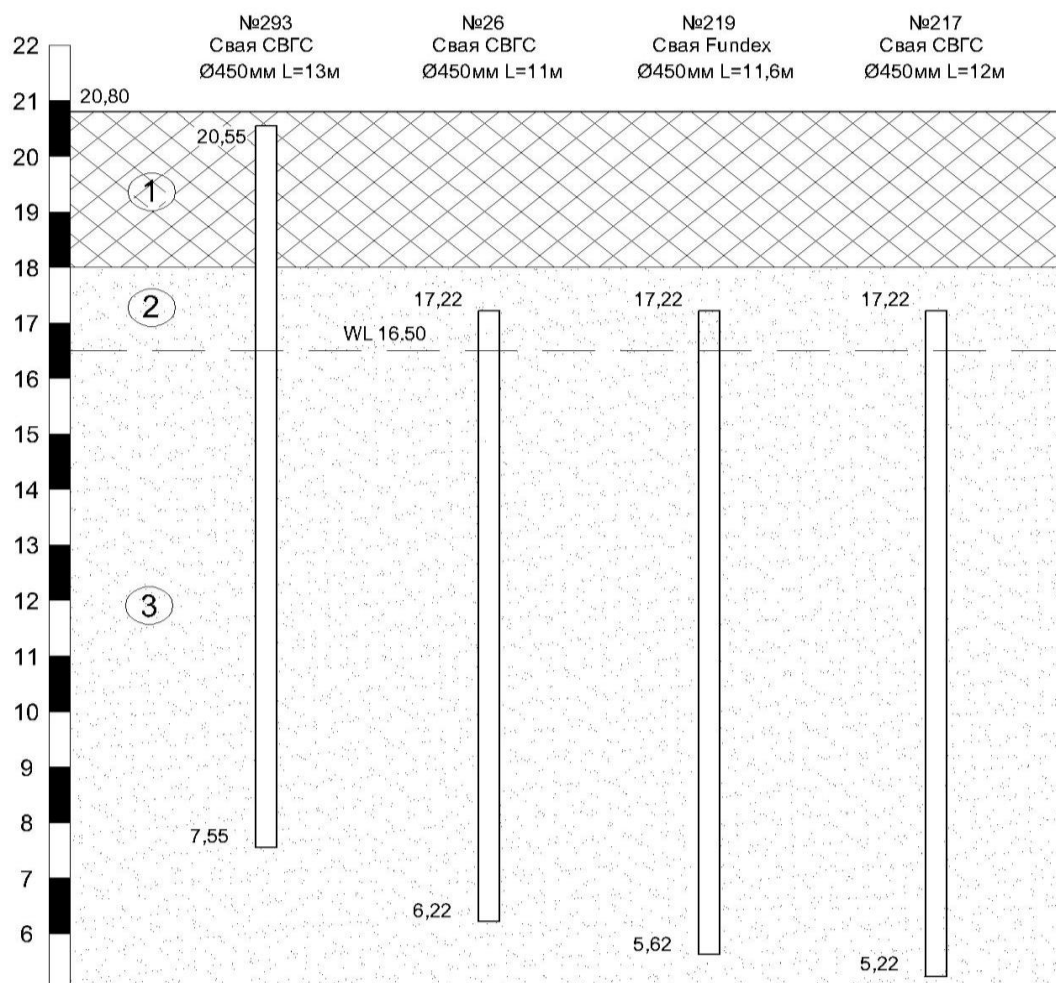


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез площадки с привязкой экспериментальных свай

Контрольные испытания свай

После «отдыха» пробных свай не менее 28 суток, до устройства рядовых свай, проведены статические испытания четырех свай №№ 217, 219, 26, 293 по ГОСТ [11]. Для более точного определения осадки и предельного сопротивления свай на вдавливание в Программе испытаний ступени нагружения приняты равными 8,25 т (1/20 от $N_{\max} = 165$ т). Максимальная нагрузка на сваю при испытании $N_{\max}$ была назначена 1,5 от N проектной плюс одна ступень. Графики зависимости осадки свай S от нагрузки P представлены на рис. 4.

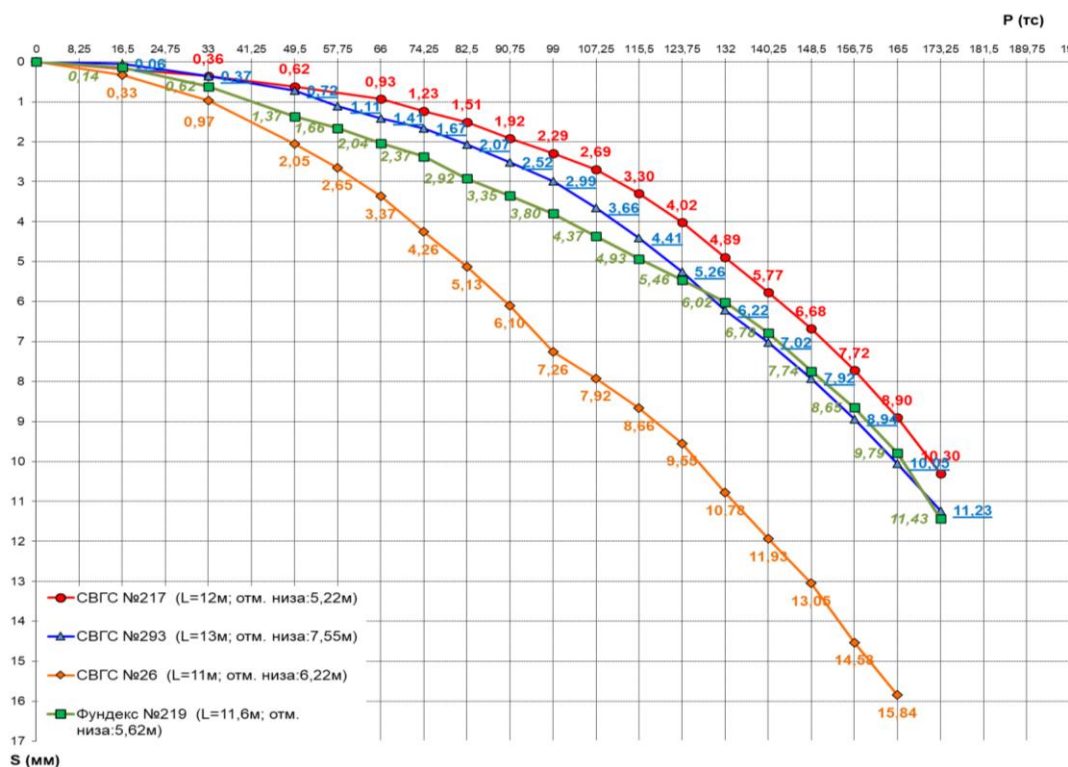


Рис. 4. Графики зависимости осадки свай от нагрузки

Как и следовало ожидать, с возрастанием длины свай ее осадка уменьшается, а увеличение диаметра теряемого наконечника свай «Фундекс» на несущую способность свай в представленном диапазоне нагрузок не влияет. По-видимому, сваи «Фундекс» и СВГС были испытаны только до значений, близких к исчерпанию несущей способности по боковой поверхности. Об этом косвенно свидетельствует время стабилизации свай на последнем этапе нагружения, не превышающее 2,5 часа для всех свай (табл. 2). Поэтому различия в значениях несущей способности у испытанных свай практически нет, хотя увеличенный диаметр наконечника свай «Фундекс» должен был добавить к лобовому сопротивлению минимум 27,2%. У сваи № 26 при нагрузке 165 т треснул оголовок и испытание было остановлено.

Таблица 2 – Время стабилизации свай на последней ступени нагружения

Номер сваи	Тип сваи	Длина, м	Нагрузка P, т	Время стабилизации, ч
	СВГС			
	СВГС			
	«Фундекс»			
	СВГС			

Ни одну сваю не удалось «сорвать» или довести до осадки $0,2 \cdot S_{пр} = 2$ см, поэтому судить о реальном значении предельного сопротивления свай вдавливающей нагрузке F_u по результатам испытаний невозможно.

В качестве предельного сопротивления свай вдавливающей нагрузке F_u при испытаниях приняли максимально достигнутую нагрузку:

- свая № 219 «Фундекс» — $P = 173,25$ т при осадке $S = 11,45$ мм;
- свая № 217 СВГС — $P = 173,25$ т при осадке $S = 10,30$ мм;
- свая № 293 СВГС — $P = 173,25$ т при осадке $S = 11,23$ мм;
- свая № 26 СВГС — $P = 156,75$ т при осадке $S = 14,53$ мм; треснул оголовок.

Соответственно, значения несущей способности свай F_d^3 (экспериментальные) по результатам испытаний вдавливающей нагрузкой по формуле 7.20 СП [4] составили:

- свая № 219 «Фундекс» — $F_d^3 = 173,25$ т;
- свая № 217 СВГС — $F_d^3 = 173,25$ т;
- свая № 293 СВГС — $F_d^3 = 173,25$ т;
- свая № 26 СВГС — $F_d^3 = 156,75$ т.

Расчет несущей способности свай по СП [4]

Несущая способность F_d^p (расчетная) этих свай как свай вытеснения (п. 6.4, а) СП [4] по грунту определена по формуле 7.9 СП [4]. При этом значение расчетного сопротивления грунта под нижним концом свай R принято по табл. 7.2 СП [4], а расчетное сопротивление грунта основания на боковой поверхности свай f – по таблице 7.3 СП [4].

Полученные в ходе испытаний и расчетные значения несущей способности свай приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Сравнение несущей способности свай по расчету F_d^p и по испытаниям F_d^3

Номер свай	Отметка		Длина, м	Марка и диаметр башмака, мм		Диаметр свай, мм	F_d^p по формуле 7.9 СП [4], т	F_d^3 по испытаниям, т	Расхождение, %
	верха, м	низа, м							
217	17,22	5,22	12,0	4Е	465	450	130,8	173,25	32,5
219	17,22	5,62	11,6	6Е	545	450	127,4	173,25	36,0
26	17,22	6,22	11,0	4Е	465	450	122,4	156,75	28,1
293	20,55	7,55	13,0	4Е	465	450	115,3	173,25	50,2

Выводы

1. Классические сваи «Фундекс» имеют технологические особенности и, в этой связи, некоторые недостатки:

- малая скорость проходки в плотных грунтах и, как следствие, низкая производительность;
- сильное нагревание обсадной трубы;
- риск недопогружения теряемого башмака до проектной отметки;
- большая стоимость теряемых башмаков диаметром 545 мм;

- необходимость в оборудовании с большим вертикальным усилием вдавливания (на 25 % больше, чем для свай СВГС);
- эффект «плачущих свай» [5] или процесс «гейзерения»;
- образование слоя разуплотненного грунта по боковой поверхности свай [5, 9, 12].

2. Сваи по технологии СВГС показали отличные производственные характеристики и высокую экономичность по сравнению со сваями «Фундекс» из-за меньшей стоимости теряемых башмаков (4Е, вместо башмака 6Е у технологии «Фундекс») и более высокой производительности работ.

3. Различие в несущей способности свай по грунту между сваями «Фундекс» и СВГС в диапазоне нагрузок, не превышающих прочность материала сваи, отсутствует при меньших габаритах свай СВГС.

4. Сваи по технологии СВГС показывают очень высокую несущую способность F_d по результатам испытаний, большую, чем расчетная по СП [4]. Например, увеличение несущей способности F_d свай № 217 по результатам статических испытаний (таблица 3) составило 32 %.

5. Для предварительного расчета свай, изготовленных по технологии СВГС, можно с запасом использовать методику СП [4], как для свай вытеснения по (п. 6.4, а) СП [4].

6. Сваи СВГС позволяют добиться 100% использования прочности материала сваи, так как их несущая способность по грунту превышает прочность по материалу сваи на сжатие.

7. Таким образом, выполненные по технологии ЗАО «Геотехника-С» сваи СВГС имеют большие перспективы для их широкого применения и требуют дальнейших исследований.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Список источников

1. Мангушев, Р. А. Современные свайные технологии: учеб. пособие / Р. А. Мангушев, А. В. Ершов, А. И. Осокин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 240 с.
2. Внедрение новых технологий изготовления свай вытеснения / Е. В. Бойков, В. Э. Фролов, А. В. Бондаревский [и др.] // Современное строительство и архитектура. – 2024. – № 11(54). – С. 1-4. – DOI 10.60797/mca.2024.54.3.
3. СВГС как дальнейшее развитие технологии изготовления набивных свай / Е. В. Бойков, В. Э. Фролов, А. В. Бондаревский [и др.] // Фундаменты. – 2026. – № 1 (23). – С. 38-41.
4. СП 24.13330.2021 «СНиП 2.02.03–85. Свайные фундаменты» – М.: ОАО «ЦПП», 2021. – 113 с.
5. Мангушев, Р. А. Границы практического применения свай «Фундекс» в условиях слабых грунтов / Р. А. Мангушев, И. П. Дьяконов, Л. Н. Кондратьева // Жилищное строительство. – 2017. – № 9. – С. 3-8.

6. Мангушев, Р. А. Анализ практического применения завинчиваемых набивных свай / Р. А. Мангушев, В. В. Конюшков, И. П. Дьяконов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2014. – № 5. – С. 11-16.

7. Экспериментальные исследования несущей способности свай Fundex после длительного «отдыха» в глинистых грунтах статическими вдавливающими и выдергивающими нагрузками / А. В. Савинов, В. Э. Фролов, Ю. Н. Бровиков, М. П. Кожинский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10. – № 4. – С. 13-29. – DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.02.

8. Савинов, А. В. Оценка несущей способности свай «Фундекс» по прочностным и деформационным характеристикам глинистых грунтов / А. В. Савинов, В. Э. Фролов // Нелинейная механика грунтов и численные методы расчетов в геотехнике и фундаментостроении: материалы научно-технической конференции с иностранным участием, Воронеж, 06–08 ноября 2019 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2019. – С. 135-139.

9. Экспериментальные исследования основания свай Fundex после длительного «отдыха» в глинистых грунтах нагрузками / А. В. Савинов, В. Э. Фролов, Ю. Н. Бровиков, М. П. Кожинский // Construction and Geotechnics. – 2020. – Т. 11. – № 1. – С. 5-19. – DOI: 10.15593/2224-9826/2020.1.01.

10. Патент 2804651 С1 Российская Федерация, МПК E02D 5/38, E02D 5/56. Способ возведения набивной сваи в грунте: № 2023101517: заявл. 24.01.2023: опубл. 03.10.2023 / Фролов В. Э. [и др.]; заявитель ЗАО «Геотехника-С». – 9 стр.

11. ГОСТ 5686–2020 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями». – М.: Стандартинформ, 2020. – 51 с.

12. Дьяконов, И. П. Теоретические предпосылки оценки величины трения по боковой поверхности свай «Фундекс» / Д. И. Пьяконов, А. А. Веселов, Л. Н. Кондратьева // Жилищное строительство. – 2017. – № 11. – С. 30-33.

© Савинов А. В., Фролов В. Э., Бондаревский А. В., Бровиков Ю. Н.,
Сбиритов А. С., Колесников А. Ю., Бойков Е. В., 2026