

УДК 624.154.53; 624.154.8

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-260-267

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ ВЫТЕСНЕНИЯ СВГС ПО БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

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

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

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

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

Аннотация. Рассмотрена развивающаяся технология изготовления свай вытеснения Геотехника-С (СВГС). Целью экспериментальных исследований было проведение контрольных полевых испытаний грунтов сваями статической нагрузкой на вдавливание и на выдергивание по ГОСТ 5686-2020. Экспериментальные исследования проводились на объекте в г. Энгельсе Саратовской области, для чего были изготовлены две пробные сваи. Получены предельные сопротивления сваи, вдавливающей и выдергивающей нагрузкам F_u при испытаниях и несущие способности сваи СВГС на вдавливание F_d^3 и на выдергивание F_{du}^3 . Рассчитаны теоретические значения несущей способности сваи на вдавливание и на выдергивание как сваи вытеснения по СП 24.13330.2021. Проведено сравнение теоретических результатов несущей способности свай на вдавливание F_d^p и на выдергивание F_{du}^p с экспериментальными значениями несущей способности по результатам статических испытаний F_d^3 и F_{du}^3 . Сделаны выводы о том, что несущая способность свай по результатам испытаний значительно превышает теоретическую, и о влиянии частичной экскавации грунта по поверхности инвентарной трубы на несущую способность сваи по боковой поверхности. Сваи СВГС, выполненные по технологии ЗАО «Геотехника-С», имеют большие перспективы для широкого применения.

Ключевые слова: свайный фундамент, несущая способность, свая вытеснения, экскавация грунта, сопротивление грунта, прочность материала сваи

EXPERIMENTAL STUDY OF THE BEARING CAPACITY OF SVGS DISPLACEMENT PILES ON THE SIDE SURFACE

**A. V. Savinov¹, V. E. Frolov², A. V. Bondarevsky², Yu. N. Brovikov²,
A. S. Sbirityov², 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. This paper examines the evolving technology for manufacturing Geotechnica-S (SVGS) displacement piles. The objective of the experimental studies was to conduct control field tests of soils using the piles under static compression and pullout loads in accordance with GOST 5686-2020. The experiments were conducted at a site in Engels, Saratov Region, for which two test piles were manufactured. The ultimate pile resistances, F_u , to compression and pullout loads during testing were determined, as well as the SVGS pile's bearing capacities for compression, F_d^3 , and pullout, F_{du}^3 . The theoretical bearing capacities of the pile for compression and pullout were calculated as displacement piles in accordance with SP 24.13330.2021. The theoretical results for the pile bearing capacity under pressure F_d^p and

pull-out F_{du}^p were compared with the experimental values of bearing capacity based on static tests F_d^s and F_{du}^s). Conclusions were reached that the pile bearing capacity based on test results significantly exceeds the theoretical value, and the effect of partial excavation of soil along the surface of the stock pipe on the pile bearing capacity along the lateral surface was also discussed. SVGS piles manufactured using Geotekhnika-S CJSC's technology offer great potential for widespread use.

Keywords: pile foundation, bearing capacity, displacement pile, soil excavation, soil resistance, pile material strength

Введение

Технология изготовления набивных свай вытеснения Геотехника-С (СВГС), предложенная и запатентованная ЗАО «Геотехника-С» [1–3], достаточно часто используется при устройстве свайных фундаментов в Саратовской области.

Согласно СП [4] сваи СВГС относятся:

- по способу заглубления в грунт — к набивным железобетонным сваям, устраиваемым в грунте путем укладки бетонной смеси в скважины, образованные в результате принудительного вытеснения грунта [4, п. 6.1в];

- по способу устройства — к вытеснительным сваям, устраиваемым путем погружения (завинчиванием) инвентарных труб, нижний конец которых закрыт оставляемым в грунте наконечником (башмаком), с последующим извлечением этих труб по мере заполнения скважин бетонной смесью [4, п. 6.4а].

Для свай СВГС нами предложено определять:

- несущую способность F_d набивной сваи СВГС, работающей на сжимающую нагрузку [4, по формуле 7.13]. Расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи R принимается [4, табл. 7.2] как для забивных и вдавливаемых свай, а расчетное сопротивление грунта основания на боковой поверхности сваи f [4, табл. 7.3].

- несущую способность на выдергивание F_{du}^p сваи СВГС [4, по формуле 7.2.7]. Значение расчетного сопротивления грунта основания на боковой поверхности сваи f принимается [4, табл. 7.3].

В связи с тем, что при изготовлении свай СВГС по шнековой навивке трубы происходит частичная экскавация разуплотненного и разжиженного грунта, возникает вопрос о влиянии этого процесса на общую несущую способность свай.

Для вытеснительных свай «Фундекс», аналогичных по способу устройства [4, п. 6.4 а], в работе [5] даже предложен понижающий поправочный коэффициент 0,5, который учитывался умножением на табличные значения сопротивления грунта основания на боковой поверхности сваи f [4, табл. 7.3].

Целями экспериментальных исследований являются:

- проведение контрольных полевых испытаний грунтов сваями СВГС статической нагрузкой на вдавливание и на выдергивание по ГОСТ [6];

- получение предельных сопротивлений свай, вдавливающей и выдергивающей нагрузками F_u при испытаниях и экспериментальных значений несущих способностей свай СВГС — на вдавливание F_d^p и на выдергивание F_{du}^p ;
- расчет значений несущей способности свай на вдавливание F_d^p и на выдергивание F_{du}^p как для свай вытеснения [4, п. 6.4 а];
- сравнение расчетных результатов определения несущей способности свай на вдавливание F_d^p и на выдергивание F_{du}^p по СП [4] с соответствующими экспериментальными значениями по результатам статических испытаний на вдавливание F_d^p и на выдергивание F_{du}^p ;
- оценка возможности предварительного назначения несущей способности свай СВГС при проектировании свайных оснований [4].
- оценка влияния процесса частичной экскавации разуплотненного и разжиженного грунта на несущую способность свай по боковой поверхности;
- анализ необходимости введения понижающего поправочного коэффициента, аналогичного предложенному в работе [5].

Изготовление свай

Экспериментальные исследования проводились в 2022 г. на объекте, расположенном по адресу: ул. Трудовая, д. 12 в г. Энгельс Саратовской области. При изготовлении фундамента 25-этажного здания, до устройства рядовых свай, были изготовлены две пробные сваи СВГС диаметром мм, длиной 12,0 м из бетона В25, W6, П4, прочностью материала свай на сжатие 165,0 т (рис. 1):

- свая № 217 — для испытания статической вдавливающей нагрузкой;
- свая № 128В — для испытания статической выдергивающей нагрузкой.

Армирование свай рассчитано на выдергивающую нагрузку 180,0 т.

Расстояние между сваями — 15,9 м, отметка низа свай — 5,22 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

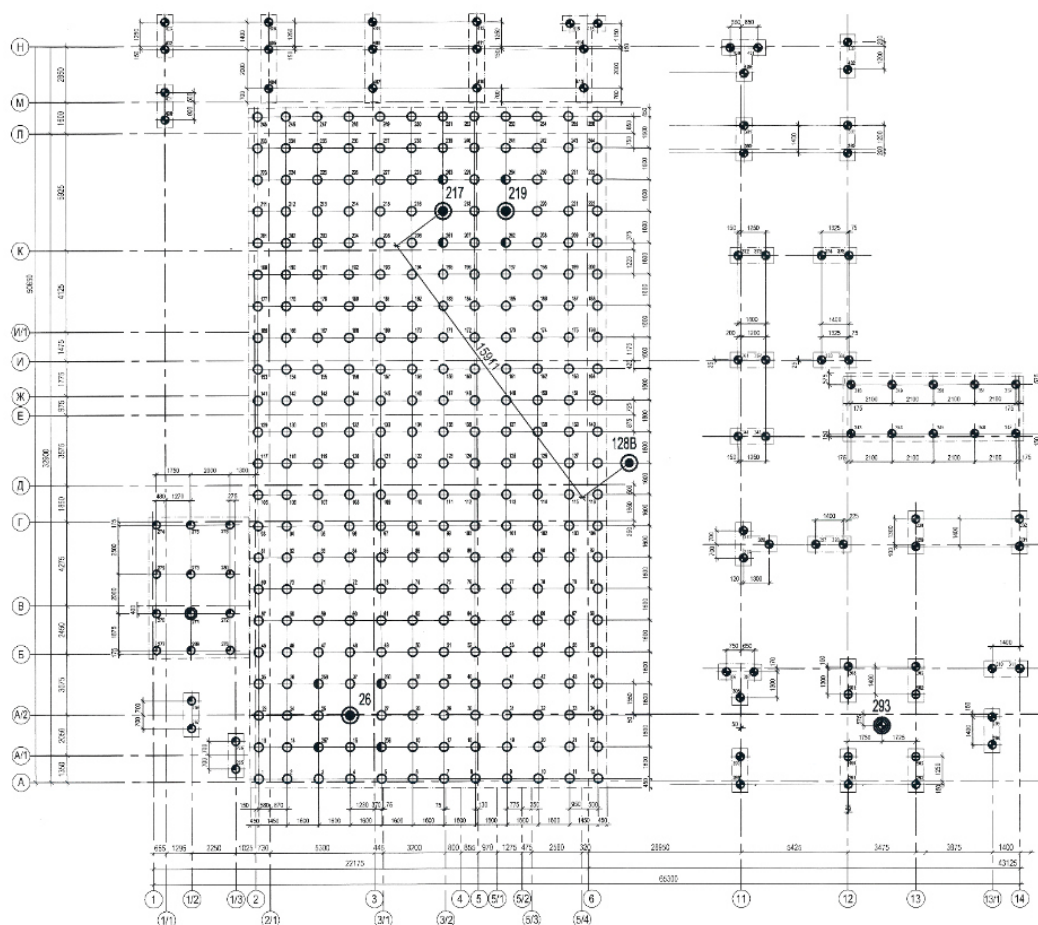


Рис. 1. Расположение испытуемых свай №№ 217 и 128В на плане свайного поля

В качестве несущего слоя свай СВГС служил мелкий песок средней плотности (ИГЭ № 3) (рис. 2).

После «отдыха» пробной сваи № 217 более 28 суток проведено испытание грунта сваей статической вдавливающей нагрузкой по ГОСТ [6]. Для более точного определения осадки и предельного сопротивления сваи на вдавливание в Программе испытаний ступени нагружения были приняты равными 8,25 т (1/20 от $N_{\max} = 165,0$ т). Максимальная нагрузка на сваю при испытании ($N_{\max}$) была назначена 1,5 от N проектной плюс одна ступень. График зависимости осадки сваи S от нагрузки P представлен на рис. 3. Сваю не удалось сорвать или хотя бы довести до осадки сопротивления сваи вдавливающей нагрузке F_u по результатам испытаний невозможно. В качестве предельного сопротивления сваи вдавливающей нагрузке F_u при испытаниях приняли максимально достигнутую нагрузку $P = 173,3$ т при осадке $S = 10,3$ мм. Время стабилизации сваи на последней ступени нагружения составило 2 часа. Соответственно, значение несущей способности сваи $F_d^{\text{э}}$ (экспериментальное) по результатам испытаний вдавливающей нагрузкой по формуле 7.20 СП [4] было принято $F_d^{\text{э}} = 173,3$ т.

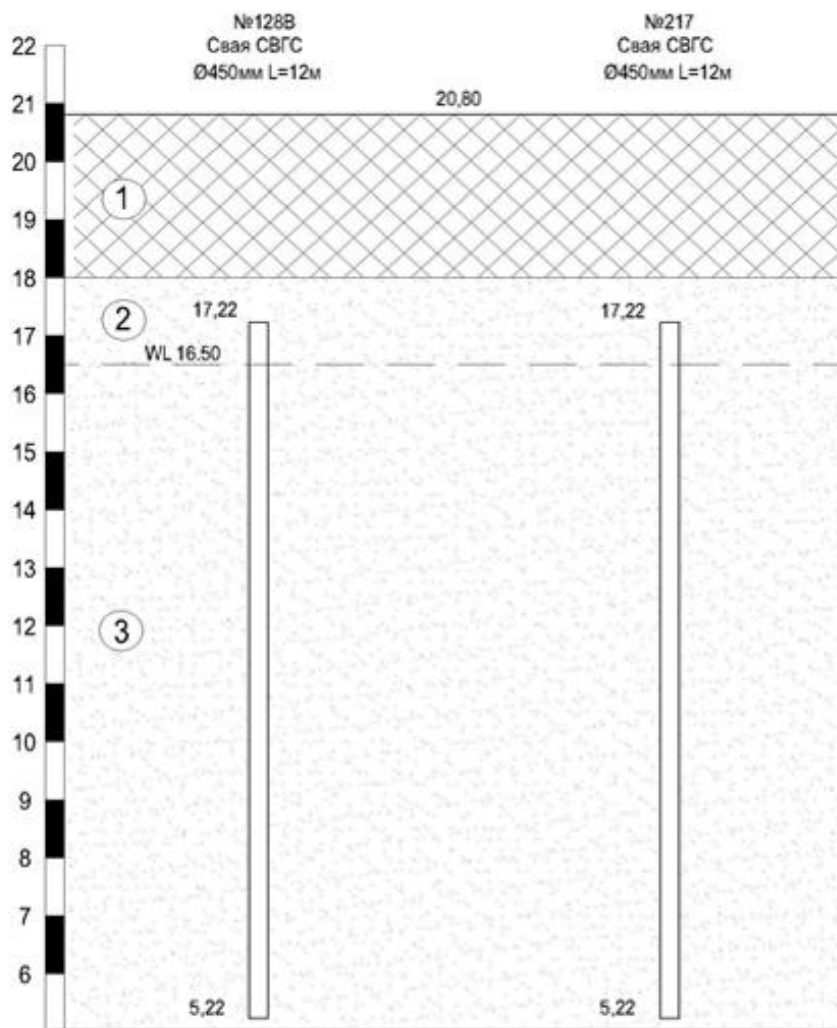


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез площадки с привязкой экспериментальных свай

Контрольные испытания свай

После «отдыха» пробной сваи № 128В более 28 суток проведено испытание грунта сваей статической выдергивающей нагрузкой по ГОСТ [6]. Для более точного определения осадки и предельного сопротивления сваи на выдергивание в Программе испытаний ступени нагружения были приняты равными 8,25 т (1/20 от $N_{\max} = 165,0$ т), что позволило соизмерять перемещения свай при вдавливании и выдергивании при одинаковых ступенях нагружения. Результаты испытания приведены на рисунке 3. По графику зависимости перемещения сваи от нагрузки определено частное значение предельного сопротивления сваи выдергивающей нагрузке = 165,0 т по п.7.3.6 СП [4]. Срыв сваи произошел при нагрузке $P = 173,3$ т.

Соответственно, значение несущей способности сваи по результатам испытаний выдергивающей нагрузкой F_{du}° (экспериментальное) по формуле 7.20 СП [4] составило $F_{du}^{\circ} = 165,0 \cdot 0,8 = 132,0$ т, где 0,8 – коэффициент условий работы сваи в грунте.

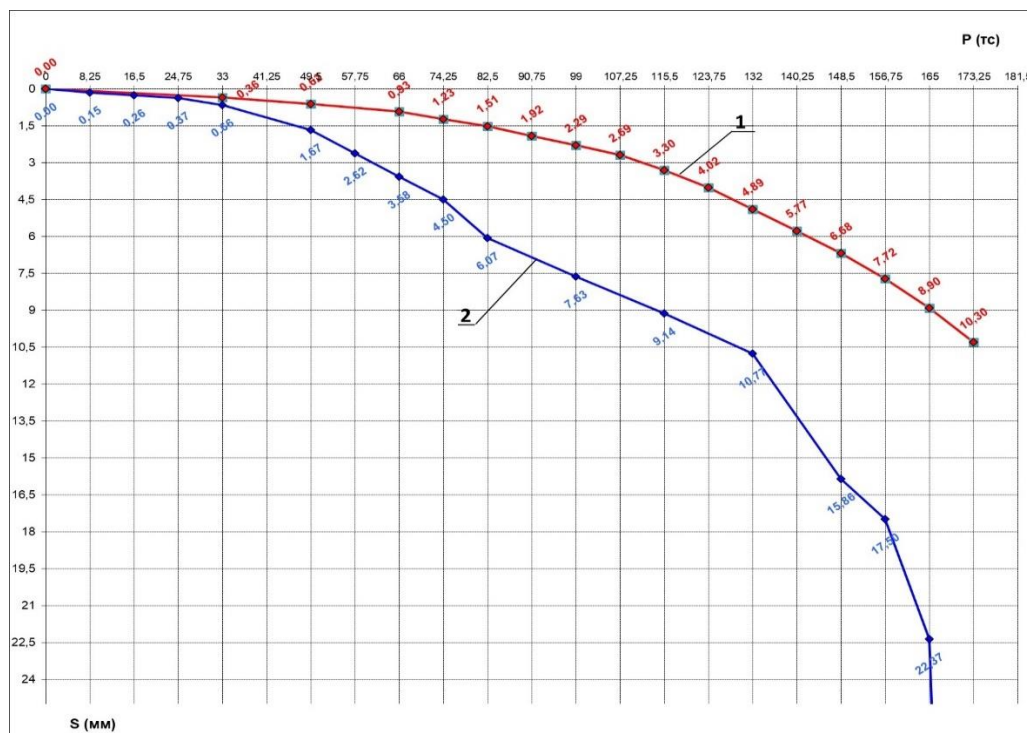


Рис. 3. Совмещенный график зависимостей перемещения свай от нагрузки:
1 – осадка вдавливаемой сваи № 217; 2 – выход (подъем) выдергиваемой сваи № 128В

4. Расчет несущей способности свай по СП [4]

Несущая способность по грунту F_d^p (расчетная) на вдавливание пробной сваи № 217, как сваи вытеснения (п.6.4а) СП [4], определена по формуле 7.9 СП [4] и составила $F_d^p = 130,8$ т. При этом значение расчетного сопротивления грунта основания под нижним концом сваи R принято по табл. 7.2 СП [4], а расчетное сопротивление грунта основания на боковой поверхности сваи f — по табл. 7.3 СП [4].

Несущая способность по грунту F_{du}^p (расчетная) на выдергивание пробной сваи № 128В, как сваи вытеснения (п.6.4а) СП [4], определена по формуле 7.2.7 СП [4], с учетом коэффициента условий работы сваи в грунте грунта на боковой поверхности f принято по [4, табл. 7.3].

Сравнение теоретических и экспериментальных результатов определения несущей способности свай на вдавливание F_d^p и на выдергивание F_{du}^p по СП [4] показано в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение расчетных и экспериментальных значений несущей способности

Отметка		Длина, м	Марка и диаметр башмака, мм		Диаметр сваи, мм	Несущая способность сваи № 217 на вдавливание, т			Несущая способность сваи № 128В на выдергивание, т		
верха, м	низа, м					F_d^p	F_d^3	$(F_d^3 - F_d^p) / F_d^p \cdot 100\%$	F_{du}^p	F_{du}^3	$(F_{du}^3 - F_{du}^p) / F_{du}^p \cdot 100\%$
17,22	5,22	12,0	4Е	465	450	130,8	173,3	32,5	62,8	132,0	110,2

Выводы

1. Свая, изготовленная по технологии СВГС, показала очень высокую несущую способность по результатам испытаний $F_d^3 = 173,3$ т, значительно превышающую расчетную несущую способность $F_d^p = 130,8$ т по СП [4]. Увеличение составило 32,5% (табл. 2). При этом по графику (рис. 3) четко видно, что нагрузка еще очень далека от предельных значений. Реальное значение F_d^3 еще больше, о чем свидетельствует и малое время стабилизации — 2 часа, т. е. свая далека до срыва. Об этом свидетельствует и тот факт, что предельное сопротивление сваи вдавливающей нагрузке при испытаниях $F_u = 173,3$ т всего лишь на 5 % больше предельного сопротивления сваи выдергивающей нагрузке $F_u = 165,0$ т.

2. Получить полную несущую способность сваи № 217 на вдавливание по результатам испытания не удалось, т. к. нагрузка на сваю при испытании $P = 173,3$ т при осадке $S = 10,3$ мм превысила прочность материала сваи, рассчитанную на максимальное вертикальное усилие $N = 165,0$ т.

3. Сравнение несущей способности сваи № 128В на выдергивание по результатам испытания $F_{du}^3 = 132,0$ т с расчетной несущей способностью на выдергивание $F_{du}^p = 62,8$ т свидетельствует о том, что в данных грунтах очень значительно влияние частичной экскавации разуплотненного грунта по боковой поверхности инвентарной трубы на несущую способность сваи по боковой поверхности. Существенно увеличивается значение несущей способности сваи на выдергивание по результатам испытания по сравнению с расчетной несущей способностью (на 110,2 %).

4. Проведенные исследования подтверждают корректность использования для предварительного назначения несущей способности сваи СВГС при проектировании свайных оснований рекомендаций СП [4]. Несущую способность F_d сваи СВГС, работающей на сжимающую нагрузку, можно определять по формуле 7.13 СП [4]. При этом расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи R принимается по табл. 7.2 СП [4] как для забивных и вдавливаемых свай, а расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности f — по табл. 7.3 СП [4].

5. Несущую способность на выдергивание F_{du}^p сваи СВГС, как сваи вытеснения [4, п. 6.4 а], можно вычислять [4, по формуле 7.2.7]. При этом значение расчетного сопротивления грунта основания на боковой поверхности сваи f принимается [4, табл. 7.3].

6. Необходимость введения понижающего поправочного коэффициента, аналогичного предложенному в работе [5], отсутствует. Скорее можно говорить о повышающем коэффициенте, но для этого необходимо проведение дополнительных исследований.

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

Список источников

1. 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 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.
- СП 24.13330.2021 «СНиП 2.02.03–85. Свайные фундаменты». – М.: ОАО «ЦПП», 2021. – 113 с.
5. Дьяконов, И. П. Теоретические предпосылки оценки величины трения по боковой поверхности свай «Фундекс» / И. П. Дьяконов, А. А. Веселов, Л. Н. Кондратьева // Жилищное строительство. – 2017. – № 11. – С. 30-33.
- ГОСТ 5686-2020 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями». – М.: Стандартинформ, 2020. – 51 с.

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