УДК 624.131

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-4-58-67

© А. И. Осокин, канд. техн. наук, доцент

© A. I. Osokin, PhD in Sci. Tech, Associate Professor

© В. В. Конюшков, канд. техн. наук, доцент

© V. V. Konyushkov, PhD in Sci. Tech, Associate Professor

© И. П. Дьяконов, ассистент

© I. P. Dyakonov, assistant lecturer

© Ле Ван Чонг, аспирант

© Le Van Trong, post-graduate student

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: a.osokin@geostroy.ru, v.konyushkov@yandex.ru,

E-mail: a.osokin@geostroy.ru, v.konyushkov@yandex.ru,

idjkanv@yandex.ru, lvtrong.xyz@yandex.ru

idjkanv@yandex.ru, lvtrong.xyz@yandex.ru

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРОВОЙ СВАИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ С РАЗВИТЫМ ПОДЗЕМНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ

EVALUATION OF THE BEARING CAPACITY OF THE DRILLING PILE FOR CONSTRUCTION OF A SKYSCRAPER WITH A DEVELOPED UNDERGROUND STRUCTURE

Целью настоящего исследования является оценка несущей способности буровой сваи для высотного и подземного строительства. Проанализирована буровая свая с высокой несущей способностью для высотного здания с глубоким котлованом. В настоящее время определение несущей способности сваи выполняется по регламентированной методике СП 24.13330 «Свайные фундаменты» с максимальной глубиной заложения пяты сваи до 40 м. Однако условия современного высотного строительства требуют применения свай со значительно большей глубиной заложения, а рекомендации по расчетам таких свай в технических регламентах отсутствуют. Выполнены аналитические расчеты несущей способности сваи глубиной заложения более 40 м по различным методикам. Проведено сравнение результатов расчетов с численным моделированием и полевым испытанием сваи на строительной площадке. Даны рекомендации по расчету сваи с учетом разработки глубокого котлована.

Ключевые слова: расчеты несущей способности сваи без учета экстраполяции и с ее учетом, расчет сваи по прочностным характеристикам грунта.

The purpose of this study is assessing of the bearing capacity of drilling pile for high-rise construction and underground structures. The article presents the results of analytical calculations of the bearing capacity of pile for a high-rise building with a deep pit. Currently, the bearing capacity of the pile is determined according to the SP 24.13330 «Pile Foundations» regulated method applied in regard to piles with maximum depth of the pile toe bulb up to 40 m. However, the conditions of modern high-rise construction require the use of piles with a much greater depth of laying, and there are no recommendations for the calculation of such piles in the technical regulations. The authors present the results of analytical calculations of the bearing capacity of the pile with a depth of more than 40 m performed by various methods. The results of calculations have been compared with numerical modeling and field tests of the pile at the construction site. Recommendations on the calculation of the pile are offered taking into account the development of a deep pit.

Keywords: calculation of the pile bearing capacity without taking into account extrapolation and taking into account extrapolation, calculation of the pile on the strength characteristics of soil.

Введение

В современном строительстве имеется тенденция к максимальной функциональности новых зданий и сооружений. Именно поэтому в последние десятилетия популярным направле-

нием является строительство высотных зданий с развитым подземным пространством. Однако такие проекты являются очень сложными и затратными по времени и финансовым расходам в связи с вариативными конструктивно-

технологическими решениями, недостаточно разработанной нормативной базой, небольшим проектным и производственным опытом при строительстве такого рода сооружений. При этом если не самым главным, то одним из важнейших решений, влияющих на конечную стоимость объекта строительства, является выбор наиболее рационального и в то же время надежного варианта фундамента для высотного сооружения.

В настоящем исследовании проанализирована буровая свая с высокой несущей способностью для высотного здания с глубоким котлованом. В настоящее время определение несущей способности сваи выполняется по регламентированной методике СП 24.13330 «Свайные фундаменты», при этом максимальная глубина заложения пяты сваи составляет до 40 м. Однако условия современного высотного строительства требуют применения свай со значительно большей глубиной заложения, а рекомендации по расчетам таких свай в технических регламентах отсутствуют.

Расчеты несущей способности сваи выполнены по следующим методикам:

- по табличным значениям сопротивлений грунтов по боковой поверхности и под пятой сваи без учета экстраполяции значений трения грунтов на глубину более 40 м;
- по построенным авторами статьи графикам сопротивлений грунтов на глубину до 100 м методом экстраполяции;
- по прочностным характеристикам грунтов на основе научных исследований и рекомендаций технических регламентов [1, 2];
- путем численного моделирования работы сваи под нагрузкой с использованием программного комплекса PLAXIS 3D;
- на основе сравнительного анализа результатов полевого испытания сваи на строительной площадке с результатами всех вышеуказанных расчетов.

1. Краткая характеристика инженерно-геологических условий площадки

Рассматриваемая строительная площадка расположена в Санкт-Петербурге и в геоморфологическом отношении входит в пределы Приморской низменности. В геолого-литологическом строении площадки в пределах изученных при

проведении инженерно-геологических изысканий глубин принимают участие четвертичные отложения различного генезиса: с поверхности техногенные насыпные отложения (tIV), ниже залегают морские и озерные отложения (m, l IV), которые подстилаются озерно-ледниковыми отложениями (lg III b); в нижней части залегают ледниковые отложения лужской стадии оледенения (g III lz) и верхнепротерозойские котлинские отложения (Vkt2). В пределах рассматриваемой глубины бурения до 105,8 м выделено 14 инженерно-геологических элементов (ИГЭ) (1a, 2, 2a, 2б, 3, 3a, 4, 4a, 5, 6, 6a, 7, 8, 9). Характеристики 14 ИГЭ, полученные по результатам инженерно-геологических исследований грунтов на площадке, представлены в табл. 1.

2. Особенности определения несущей способности буровых свай по грунту

Расчет несущей способности буровой сваи, устраиваемой под защитой обсадной трубы, первоначально выполнялся по требованиям СП 24.13330 «Свайные фундаменты». Принятая методика расчета несущей способности сваи разработана для свай глубиной погружения до 40 м от поверхности планировки, что не позволяет учитывать повышение сопротивления по пяте и боковой поверхности сваи на больших глубинах. Указанная особенность видна на рис. 1, 2: если не проводить экстраполяцию сопротивлений грунтов после 40 м, то с увеличением глубины заложения сваи трение не возрастает, а остается постоянным по величине [4–6].

Рассмотрев характер изменения предельного сопротивления грунтов на боковой поверхности и под пятой сваи в зависимости от глубины заложения до 40 м, можно предположить, что сопротивление и далее возрастает с глубиной. Применив линейную экстраполяцию значений сопротивления на глубину до 100 м, нами были построены графики зависимости сопротивления грунтов от их физико-механических характеристик и глубины.

На рис. 1, 2 приведено распределение сопротивлений по боковой поверхности сваи и под ее пятой до глубины заложения пяты сваи 100 м. Значения сопротивлений приведены как без экстраполяции, так и с учетом экстраполяции.

В мировой практике существует способ расчета несущей способности сваи по прочностным

Таблица 1

Показатели физико-механических свойств грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунта	Геологический индекс	Плотность γ , кН/м ³	Природная влажность W	Коэффициент пористости e	Показатель текучести I_L	Модуль деформации E , МПа	Угол внутреннего трения φ , град	Удельное сцепление c , кПа
1а	Намывные грунты	tIV	20,7	0,132	0,445	–	54,0	38,0	2,0
2	Морские и озерные отложения	m, l IV	17,5	0,643	1,145	1,07	3,6	7,0	8,0
2а			20,0	0,209	0,598	–	35,0	35,0	3,0
2б			19,9	0,207	0,600	–	28,0	39,0	1,0
3			19,1	0,310	0,860	1,18	8,9	11,0	8,0
3а			19,9	0,253	0,705	0,66	19,0	14,0	18,0
4	Озерно-ледниковые отложения	lg III b	18,0	0,419	1,164	0,98	8,5	8,0	90,0
4а			18,5	0,366	1,016	1,01	6,6	10,0	90,0
5			19,3	0,291	0,814	0,74	9,8	14,0	16,0
6	Ледниковые отложения Лужской морены	g III lz	22,2	0,134	0,370	0,63	18,3	24,0	20,0
6а			22,6	0,118	0,328	0,30	24,5	25,0	29,0
7	Верхне-протерозойские котлинские отложения	Vkt2	21,4	0,174	0,505	–0,37	25,3	17,0	138,0
8			22,1	0,138	0,397	–0,60	141,4	27,5	183,0
9			22,5	0,122	0,352	–0,71	141,4	34,0	210,0

Рис. 1. Распределение сопротивления по боковой поверхности сваи до глубины 100 м

Рис. 2. Распределение сопротивления под пятой сваи до глубины 100 м

характеристикам грунта, который не является обязательным в действующих нормативных документах РФ (однако отражен в рекомендациях). Его суть заключается в разбиении напластований грунтов на элементарные слои по длине сваи и определении действующих напряжений в каждом из элементарных слоев и последующем вычислении предельных сопротивлений по боковой поверхности и под пятой сваи. На рис. 3 приведены результаты сопоставительного анализа несущей способности сваи, рассчитанной по различным методикам. Как видим, несущая способность сваи, вычисленная по различным методикам, может значительно отличаться.

3. Полевые испытания буровых свай с высокой несущей способностью для высотного и подземного строительства

Для испытания грунтов сваями используются различные методы полевых исследований. В отечественной практике испытание сваи с определением несущей способности выполняется при помощи статического нагружения платформой с грузами или посредством гидравлического домкрата с анкерными сваями по ГОСТ 5686

(Static Load Test). Известен и метод динамического испытания сваи и сваи-баретты ударной нагрузкой (Statnamic) с молотами весом 250 кН с несущей способностью испытываемых свай до 45 000 кН.

В последнее десятилетие в России появился метод испытания свай ячейками Остерберга (метод O-cell) [7]. Для испытаний применяется силовая ячейка (гидравлический домкрат) со следующими элементами: верхний испытываемый элемент (ВИЭ) и нижний испытываемый элемент (НИЭ). Система снабжена гидравлическими шлангами и гидронасосом. Насос создает давление на домкраты силовой ячейки. С увеличением нагрузки происходят вертикальные перемещения верхнего и нижнего испытываемых элементов. Величины перемещений определяются датчиками деформаций, а возникающие в процессе перемещения напряжения измеряются с помощью тензометров (strain gauge, SG). Испытания проводят до того момента, пока не наступит один из следующих случаев: достигнут предел удельного поверхностного трения, достигнута проектная

Рис. 3. Сопоставительный анализ несущей способности буровой сваи, полученной по различным методикам

несущая способность сваи или достигнута максимальная мощность силовой ячейки.

С помощью силовых ячеек можно передавать нагрузки до 300 МН (30 000 тс). Для высотного строительства со сваями большой длины и диаметрами этот метод наиболее оптимальный и эффективный с технико-экономической точки зрения.

На строительной площадке для уточнения несущей способности сваи было выполнено полевое испытание сваи диаметром 2 м, глубиной заложения 83,8 м с расположением большей части боковой поверхности и пяты сваи в толще коренных грунтов — вендских глинах Vkt2.

Испытание опытной сваи производилось вертикальной статической нагрузкой в два этапа:

- на первом этапе на нижнюю силовую ячейку подавалось давление для определения лобового сопротивления пяты сваи и силы трения по боковой поверхности сваи;
- на втором этапе на верхнюю силовую ячейку подавалось давление для оценки характеристик трения по боковой поверхности средней части сваи, находящейся между двумя силовыми ячейками.

На рис. 4 приведен инженерно-геологический разрез с характеристиками грунтов площадки и местами расположения силовых ячеек в свае.

В дальнейшем были проведены расчеты несущей способности сваи диаметром 2 м и глубиной заложения от планировочной отметки рельефа 83,8 м по различным методикам [8–15].

Ниже представлена табл. 2 с результатами оценки несущей способности сваи, выполненной по различным методикам.

На рис. 5 приведены изолинии вертикальных перемещений сваи (40 мм) при нагрузке 82,16 МН, полученные при численном моделировании в программном комплексе Plaxis.

Таким образом, полевое испытание несущей способности опытной сваи глубокого заложения диаметром 2 м и длиной 83,8 м показало результат:

- в 3 раза выше несущей способности, полученной по расчетам без учета экстраполяции;
- в 2 раза выше несущей способности, полученной с учетом линейной экстраполяции;
- в 1,7 раза выше значения несущей способности при осадке сваи, равной 40 мм, при чис-

Рис. 4. Инженерно-геологический разрез с характеристиками грунтов площадки и местами расположения силовых ячеек в свае

Таблица 2

Результаты несущей способности опытной сваи, определенной по различным методикам¹

Показатели		Значение несущей способности сваи, МН	Соотношение фактической и расчетной несущей способности сваи, $F_{field\ test}/F_d$
Методика расчета несущей способности сваи	Несущая способность сваи без учета экстраполяции F_d , МН	42,36	3,2
	Несущая способность сваи с учетом экстраполяции F_d , МН	64,18	2,1
	Несущая способность сваи по Plaxis 3D при осадке 40 мм F_d , МН (см. рис. 5)	82,16	1,7
	Несущая способность сваи по прочностным характеристикам F_d , МН	96,32	1,4
Результаты полевых испытаний $F_{field\ test}$, МН		136,3 ¹	–

¹ Результаты полевого испытания сваи предоставлены генеральным директором ЗАО «Геострой» А. И. Осокиным. Полевые испытания проводились под руководством канд. техн. наук, доцента С. В. Татарина инженерами А. Б. Серебряковой, А. А. Беляшовым, В. В. Войтович.

Рис. 5. Изолинии вертикальных перемещений сваи (40 мм) при нагрузке 82,16 МН

ленном моделировании в программе Plaxis (см. рис. 5);

- в 1,4 раза выше несущей способности, определенной по прочностным характеристикам грунтов.

Из данного примера наглядно видно, что наиболее близкое значение несущей способности сваи (к результату полевого испытания) дает методика расчета сваи по прочностным характеристикам грунта. Это объясняется тем фактом, что большая часть боковой поверхности и пяты сваи расположена в вендских глинах, характеризующимися углом внутреннего трения 34° и удельным сцеплением 210 кПа. Эти прочностные характеристики с учетом площади боковой поверхности и пяты сваи в значительной мере

и определяют общую несущую способность сваи по грунту.

4. Учет разработки глубокого котлована при оценке несущей способности свай

Для устройства фундамента и дальнейшей эксплуатации высотного сооружения с развитым подземным пространством был предусмотрен котлован глубиной 19 м. Здесь необходимо отметить, что несущая способность сваи оценивается по табличным значениям сопротивлений грунта, которые зависят от характеристик грунта и глубины расположения слоя ИГЭ относительно планировочной отметки рельефа. Целью аналитического исследования являлось уточнение возможности применения методики СП 24.13330 «Свайные фундаменты» (которая разработана для неглубоких котлованов) для котлована глубиной 19 м. Для оценки влияния разработки котлована указанной глубины на несущую способность сваи были рассмотрены следующие варианты расчетной схемы:

- вариант 1: глубина погружения пяты сваи и средняя глубина расположения слоя грунта принимаются от уровня планировочной отметки рельефа;
- вариант 2: глубина погружения пяты сваи и средняя глубина расположения слоя грунта принимаются от условной отметки, расположенной на 3 м выше уровня дна котлована (рекомендация из СП 24.13330 «Свайные фундаменты»);
- вариант 3: глубина погружения пяты сваи и средняя глубина расположения слоя грунта принимаются от проектной отметки дна котлована.

На рис. 6 приведены расчетные схемы всех трех вариантов.

Результаты анализа и сравнения различных методик по определению несущей способности сваи по трем вариантам представлены в табл. 3 и на рис. 7.

Как видно из табл. 3 и рис. 7, котлован оказывает существенное влияние на несущую способность сваи (по расчетам, основанным на табличных значениях сопротивлений грунта из СП 24.13330 «Свайные фундаменты» без учета и с учетом экстраполяции). При этом несущая способность сваи в зависимости от варианта расчетной схемы отличается в 1,3–1,5 раза. Глубина котлована никак не влияет на несущую

Рис. 6. Различные варианты расчетных схем для определения несущей способности свай с учетом разработки глубокого котлована

способность свай, определяемую по прочностным характеристикам грунта. В свою очередь несущая способность, вычисляемая по прочностным характеристикам грунта, в 1,4–2,4 раза выше несущей способности, определяемой по табличным значениям сопротивлений грунтов из СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты».

Заключение

При проектировании и строительстве фундаментов высотных зданий с развитым подземным пространством необходимо проводить научные исследования несущей способности свай глубокого заложения с высокой несущей способностью. Показано, что несущая способность свай, определенная по различным методикам, может

Таблица 3

Несущая способность свай, рассчитанная с учетом разработки глубокого котлована

Длина свай от отметки дна котлована, м	№ варианта	Методика расчета несущей способности свай с учетом глубокого котлована				
		Без учета экстраполяции; F_d , МН	С учетом экстраполяции; F_d , МН	Отношение большего значения к меньшему	По прочностным характеристикам; F_d , МН	Интервал отношений большего значения к меньшему
65	1	41,20	63,15	1,5	91,39	1,4–2,2
	2	38,94	51,46	1,3		1,8–2,3
	3	38,18	49,11	1,3		1,9–2,4

Рис. 7. Сравнение различных способов определения несущей способности сваи длиной 65 м с учетом разработки глубокого котлована

отличаться более чем в три раза. В зависимости от инженерно-геологических условий площадки, конструктивных решений здания, нагрузок на сваю и глубины подземного сооружения необходимо назначать различные расчетные схемы и методики определения несущей способности. После выполнения расчетов по различным расчетным схемам, численного моделирования и полевых испытаний выполняется сопоставительный анализ результатов, на основе которого делается вывод о достоверности и достаточности той или иной методики для применения в проектировании и строительстве.

Библиографический список

1. Шулятьев О. А. Основания и фундаменты высотных зданий. М.: АСВ, 2016. 392 с.
2. Шулятьев О. А., Мозгачева О. А., Поспехов В. С. Освоение подземного пространства городов. М.: АСВ, 2017. 510 с.
3. Травуш В. И., Шулятьев О. А., Шулятьев С. О., Шахрамьян А. М., Колотовичев Ю. А. Анализ результатов геотехнического мониторинга башни «Лакта центра» // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2019. № 2.
4. Тер-Мартirosян З. Г. Механика грунтов. М.: АСВ, 2009. 550 с.
5. Тер-Мартirosян А. З., Тер-Мартirosян З. Г., Лузин И. Н. Напряженно-деформированное состояние оснований фундаментов глубокого заложения // Вестник Пермского нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8, № 2. С. 96–103.
6. Сидоров В. В. Напряженно-деформированное состояние неоднородного грунтового массива, взаимодействующего с барретами большой длины: дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 159 с.
7. Мангушев Р. А., Ершов А. В., Осокин А. И. Современные свайные технологии. 2-е изд., доп. М.: АСВ, 2010. 240 с.
8. Конюшков В. В., Кондратьева Л. Н., Кириллов В. М., Ле Ван Чонг. Ускоренные способы определения несущей способности буровых свай // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 3 (74). С. 52–60.
9. Дьяконов И. П., Веселов А. А., Кондратьева Л. Н. Теоретические предпосылки оценки величины трения по боковой поверхности сваи «Фундекс» // Жилищное строительство. 2017. № 11. С. 30–33.

10. Верстов В. В., Гайдо А. Н. Технология устройства свай и свайных фундаментов. СПб.: СПбГАСУ, 2010. 180 с.

11. Далматов Б. И., Лапшин Ф. К., Россихин Ю. В. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов. Л.: Стройиздат, 1975. 240 с.

12. Мангушев Р. А., Карлов В. Д., Сахаров И. И., Осокин А. И. Основания и фундаменты. М.: АСВ, 2011. 392 с.

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

14. Мангушев Р. А., Готман А. Л., Знаменский В. В., Пономарев А. Б. Сваи и свайные фундаменты. Конструирование, проектирование и технологии. М.: АСВ, 2015. 320 с.

15. Мангушев Р. А., Никифорова Н. С., Конюшков В. В., Осокин А. И., Сапин Д. А. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах. М.; СПб.: АСВ, 2013. 256 с.

References

1. Shulyat'ev O. A. *Osnovaniya i fundamenty vysotnykh zdaniy* [Bases and foundations of high-rise buildings]. Moscow, ASV Publ., 2016, 392 p.

2. Shulyat'ev O. A., Mozgacheva O. A., Pospekhov V. S. *Osvoenie podzemnogo prostranstva gorodov* [Development of the city underground space]. Moscow, ASV Publ., 2017, 510 p.

3. Travush V. I., et al. *Analiz rezul'tatov geotekhnicheskogo monitoringa bashni «Lakhta tsentr»* [Analysis of the results of geotechnical monitoring of the "Lakhta Center" tower]. *OFMG – Soil mechanics and foundation engineering*, 2019, no. 2.

4. Ter-Martirosyan Z. G. *Mekhanika gruntov* [Soil mechanics]. Moscow, ASV Publ., 2009, 550 p.

5. Ter-Martirosyan A. Z., Ter-Martirosyan Z. G., Luzin I. N. *Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie osnovaniy fundamentov glubokogo zalozeniya* [Stress-strain condition of the base of deep foundations] *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura – Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*, 2017, vol. 8, no. 2, pp. 96–103.

6. Sidorov V. V. *Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie neodnorodnogo gruntovogo massiva, vzaimodeystvuyushchego s barretami bol'shoy dliny. Diss. kand. tekhnich. nauk* [Stress-strain state of inhomogeneous soil massif interacting with long-length barrettes. PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2013, 159 p.

7. Mangushev R. A., Ershov A. V., Osokin A. I. *Sovremennye svaynye tekhnologii* [Modern pile technologies]. 2-nd. ed., revised. Moscow, ASV Publ., 2010, 240 p.

8. Konyushkov V. V., Kondrat'eva L. N., Kirillov V. M., Le Van Trong. *Uskorennye sposoby opredeleniya nesushchey sposobnosti burovykh svay* [Accelerated methods for determining the bearing capacity of drill piles]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 3 (74), pp. 52–60.

9. D'yakonov I. P., Veselov A. A., Kondrat'eva L. N. *Teoreticheskie predposylki otsenki velichiny treniya po bokovoy poverkhnosti svai «Fundeks»* [Theoretical background estimation of the magnitude of friction on the lateral surface of the Fundex piles]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 2017, no. 11, pp. 30–33.

10. Verstov V. V., Gaydo A. N. *Tekhnologiya ustroystva svay i svaynykh fundamentov* [Technology of piles and pile foundations]. St. Petersburg, SPBGASU Publ., 2010, 180 p.

11. Dalmatov B. I., Lapshin F. K., Rossikhin Yu. V. *Proektirovanie svaynykh fundamentov v usloviyakh slabyykh gruntov* [Design of pile foundations in conditions of weak soils]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1975, 240 p.

12. Mangushev R. A., Karlov V. D., Sakharov I. I., Osokin A. I. *Osnovaniya i fundamenty* [Bases and foundations]. Moscow, ASV Publ., 2011, 392 p.

13. Mangushev R. A., Konyushkov V. V., D'yakonov I. P. *Analiz prakticheskogo primeneniya zavinchivaemykh nabivnykh svay* [Analysis of practical application of cast-in-place piles]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov – Bases, foundations and soil mechanics*, 2014, no. 5, pp. 11–16.

14. Mangushev R. A., Gotman A. L., Znamenskiy V. V., Ponomarev A. B. *Svai i svaynye fundamenty. Konstruirovaniye, projektirovanie i tekhnologii* [Piles and pile foundations. Design, engineering and technologies]. Moscow, ASV Publ., 2015, 320 p.

15. Mangushev R. A., et al. *Proektirovanie i ustroystvo podzemnykh sooruzheniy v otkrytykh kotlovanakh* [Design and construction of underground structures in open pits]. Moscow, St. Petersburg, ASV Publ., 2013, 256 p.