УДК 624.131

© Ле Ван Чонг, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: lvtrong.xyz@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-3-116-126

© Le Van Trong, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: lvtrong.xyz@yandex.ru

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ БУРОВЫХ СВАЙ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

BEARING CAPACITY OF DEEP BORED PILES

Современные технические регламенты и принципы проектирования ограничены сопротивлениями грунтов по боковой поверхности и под острием свай до 40 м. Между тем строительство высотных зданий и подземных сооружений требует применения свай более глубокого заложения. Автор статьи поставил задачу определить сопротивление грунтов для свай глубокого заложения путем статистической обработки многочисленных результатов полевых испытаний буровых свай и нелинейной экстраполяцией сопротивлений до глубины 100 м в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: ледниковые моренные и дочетвертичные вендские отложения, несущая способность буровых свай.

Modern technical regulations and design principles are limited by soil resistance on the side surface and under the point of bored piles up to 40 m. Meanwhile, the construction of high-rise buildings and underground structures requires the use of deeper bored piles. The author has set the task to determine the soil resistance for deep-bored piles by statistical processing of numerous results of field tests of bored piles and nonlinear extrapolation of soil resistance to a depth of 100 m in the geological conditions of Saint Petersburg.

Keywords: Glacial Moraine and pre-quaternary Vendian deposits, bearing capacity of bored piles.

Введение

Большая часть Санкт-Петербурга характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями: значительной толщей водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов с модулями общей деформации порядка 10 МПа и менее. Грунты Санкт-Петербурга имеют значительный разброс мощности по глубине и площади залегания, а также по физико-механическим свойствам. Эти особенности влияют на несущую способность буровых свай, поэтому, согласно исследованиям авторов [2, 3], несущая способность буровых свай по полевым испытаниям значительно превышает рассчитанную по техническим регламентам. Обозначим несущую способность буровых свай по результатам испытаний как F_u , а рассчитанную по формуле из СП — как F_d . На рис. 1 приведена сравнительная диаграмма относительной частоты распределения отношения F_u/F_d по интервалам (частотам). На рис. 1 видно, что у большей части свай (70 % испытаний) несущая способность по результатам испытаний

превышает расчетную в 2,2 раза. Очевидно, что разброс значений несущей способности до 2 раз (200 %) не является достаточной и достоверной величиной для проектирования и строительства свайных фундаментов.

Для определения влияния инженерно-геологических условий, в которых преимущественно расположена свая, на ее несущую способность, были поставлены и решены следующие задачи:

- выполнены схематические карты глубин залегания ледниковых моренных и дочетвертичных вендских отложений в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга (на основе инженерно-геологического районирования ГУП «Трест ГРИИ» и ЗАО «ЛЕНТИСИЗ»);
- проведена статистическая обработка результатов 600 полевых испытаний буровых свай, выполненных организацией ООО «ПКТИ Фундамент-тест» за последние 20 лет (с 2000 по 2020 г.);

Рис. 1. Сравнительная диаграмма относительной частоты распределения отношения F_u/F_d по интервалам (частотам)

- построены сравнительные графики несущей способности буровых свай, вычисленной по техническим регламентам и полученной в результате полевых испытаний;

- проведена нелинейная экстраполяция значений сопротивлений песчаных и глинистых грунтов по боковой поверхности и под острием буровых свай глубиной заложения до 100 м.

1. Общая характеристика инженерно-геологических условий в Санкт-Петербурге

При подготовке настоящего раздела использованы результаты архивных материалов инженерных изысканий ГУП «Трест ГРИИ» и ЗАО «ЛенГИСИЗ» в Санкт-Петербурге за последние 50 лет. По результатам анализа выполнена приблизительная классификация грунтов по их происхождению, глубине залегания и прочностным и деформационным свойствам. В общем виде генезис грунтов Санкт-Петербурга можно пред-

ставить пятью основными комплексами отложений (табл. 1).

Ниже приведено краткое описание ледниковых моренных и дочетвертичных вендских отложений, которые преимущественно являются несущими слоями для свайных фундаментов.

Ледниковые моренные отложения (g_{III}) — этот комплекс грунтов представлен преимущественно супесями и суглинками, залегает, как правило, под сильнодеформируемыми озерно-ледниковыми отложениями. У большинства построенных и строящихся зданий и сооружений на свайных фундаментах в Санкт-Петербурге в качестве несущих слоев под пятой свай залегают преимущественно ледниковые моренные отложения [1]. По физическим свойствам ледниковая морена отличается повышенной плотностью сложения и умеренной естественной влажностью. Для большинства зданий и сооружений ледниковая морена является вполне надежным основанием. Однако необходимо обращать внимание на значительную неоднородность ее свойств в зависимости от генезиса и расположения по глубине и простираению.

Дочетвертичные вендские глины (vk_t_2) — данный комплекс представлен твердыми и полутвердыми глинами и является наиболее прочным и надежным слоем. Однако кровля этого слоя крайне неравномерно залегает по глубине и, как правило, находится на значительных глубинах (преимущественно от 20 м и значительно больше) [4]. Но при вхождении в кровлю этого слоя

Таблица 1

Общая характеристика инженерно-геологических условий в Санкт-Петербурге

Отложения	Индекс	Характеристика
Техногенные отложения	tg_{IV}	Неоднородное сложение, свойства различаются в несколько раз. Не используются в качестве несущих грунтов и оснований под фундаментами зданий и сооружений
Речные и морские отложения	al_{IV}, ml_{IV}	Сильнодеформируемые, водонасыщенные, слабоводопроницаемые грунты. Расположены под подошвой фундаментов большинства исторических зданий Санкт-Петербурга
Озерно-ледниковые отложения	lg_{IV}	Сильнодеформируемые грунты. Подстилают основание большинства фундаментов зданий и сооружений, построенных на естественном основании
Ледниковые моренные отложения	g_{III}	Среднедеформируемые грунты. Преимущественно расположены под подошвой свайных фундаментов большинства зданий и сооружений в Санкт-Петербурге
Дочетвертичные вендские глины	vk_t_2	Слабodeформируемые грунты. Преимущественно расположены под подошвой свайных фундаментов высотных зданий и сооружений в Санкт-Петербурге

вертикальные вендские недислоцированные глины, будут обладать значительной несущей способностью и низкой деформативностью [5].

Морена отсутствует

Морена на глубине до 6 м

Морена на глубине свыше 20 м

118

глубины с учетом расположения станций метро в Санкт-Петербурге. В табл. 2 представлены ориентировочные значения физико-механических характеристик основных геологических отложений Санкт-Петербурга в зависимости от их гене-

зиса, важные для устройства фундамента высотных зданий и сооружений.

Из схематической карты районирования видно, что в пределах территории города по принятой градации глубин залегания кровли морены выделяется три района:

Рис. 3. Схематическая карта Санкт-Петербурга с изолиниями глубины залегания кровли дочетвертичных вендских отложений

Таблица 2

**Ориентировочные значения физико-механических характеристик грунтов
Санкт-Петербурга в зависимости от их генезиса (желтым — среднедеформируемые,
зеленым — слабдеформируемые грунты)**

Показатели	Обозначение, единица измерения	Наименование генезиса грунтов	
		Свойства ледниковых моренных супесей и суглинков (g_{III})	Свойства дочетвертичных вендских глин (vkt_2)
Удельный вес	g , кН/м ³	18...20	20...22
Влажность	W , %	30...20	20...10
Коэффициент пористости	e , доли ед.	0,8...0,5	0,5...0,3
Показатель текучести	I_L , доли ед.	0,75...0,25	менее 0,25
Удельное сцепление	c , кПа	20...50	50...100 и более
Угол внутреннего трения	φ , °	15...30	15...30
Модуль деформации	E , МПа	15...40	20...100 и более

- район I с глубиной залегания кровли от 0 до 6 м;
 - район II с глубиной залегания кровли от 6 до 20 м;
 - район III с глубиной залегания кровли более 20 м,
- а также район 0, где лужская морена отсутствует (размыта).

2. Несущая способность буровых свай по грунту в зависимости от глубины заложения их острия

Несущая способность буровой сваи по грунту преимущественно зависит от двух составляющих: сил трения по боковой поверхности и сопротивления грунта под острием сваи [6–16]:

$$F_d = f(\sum f_i; R), \quad (1)$$

где f_i — расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности сваи; R — расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи.

Автором на основе краткой классификации основных комплексов грунтов, расположенных по боковой поверхности и под острием большинства свай, было выполнено условное разделение несущей способности буровых свай по грунту на три основных схемы: в слабых грунтах (схема I), морене (схема II) и венде (схема III).

С увеличением глубины заложения свай (рис. 4) сопротивление грунта по боковой поверхности и под острием сваи можно разделить соответственно на три характерных случая:

$$\sum f_1 < \sum f_2 < \sum f_3; \quad (2)$$

$$R_1 < R_2 < R_3, \quad (3)$$

где $\sum f_1$, $\sum f_2$, $\sum f_3$ — суммарное расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности сваи; R_1 , R_2 , R_3 — расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи; индексы 1, 2, 3 соответствуют схемам I, II и III.

В исследовании была вычислена несущая способность свай по техническим регламентам и проведена статистическая обработка (методом наименьших квадратов) результатов полевых испытаний 600 буровых свай на вдавливающую нагрузку¹ по данным ООО ПКТИ «Фундамент-тест». В табл. 3 приведено распределение модуля общей деформации грунтов по боковой поверхности и под острием буровых свай, полученное из 600 полевых испытаний.

На рис. 5 приведены основные схемы расположения свай в грунте и сравнительные диа-

¹ Результаты статических полевых испытаний свай предоставлены генеральным директором ООО ПКТИ «Фундамент-тест» Г. В. Левинтовым.

Таблица 3

**Распределение модуля деформации грунтов
по боковой поверхности и под острием
свай в зависимости глубины заложения
их острия**

Схема заложения буровых свай в грунте	Модуль деформации грунта E , МПа	
	по боковой поверхности сваи	под острием сваи
I	до 10	до 20
II	до 15	до 25
III	до 25	более 30

Рис. 4. Условное разделение несущей способности буровых свай по грунту на три основные схемы (по глубине расположения буровых свай в слабых грунтах, морене и венде)

граммы фактических и рассчитанных значений несущей способности свай в зависимости от глубины заложения острия свай в моренных или вендских отложениях.

Из всех сравнительных диаграмм видно, что в зависимости от схемы расположения сваи в грунте (см. рис. 4) фактическая несущая способность сваи, определенная по результатам полевых испытаний, возрастает от 1,6 до 2,6 раза от расчетного значения. Этот факт говорит о том, что чем больше глубина расположения сваи в грунте, тем в большую сторону отличается фактическая несущая способность сваи от вычисленной по нормативным требованиям.

Автор статьи провел нелинейную экстраполяцию сопротивлений грунтов в зависимости от физических свойств грунтов по боковой поверхности и под пятой буровых свай. На рис. 6, 7 приведены результаты нелинейной экстраполяции сопротивлений грунтов по боковой поверхности (табл. 4) и под острием свай (табл. 5) до глубины 100 м. Учитывая тот факт, что в настоящее время свайные фундаменты под высот-

ные здания предполагают глубину их заложения порядка 40 м и более, данные таблицы и графики представляются очень полезными для проектировщиков и строителей.

Для подтверждения несущей способности свай глубокого заложения автор провел дополнительные расчеты свай длиной более 40 м. В табл. 6 и на рис. 8 представлены результаты оценки несущей способности буровых свай длиной более 40 м. Из таблицы видно, что отличие несущей способности буровых свай глубокого заложения от рассчитываемой по методике из технического регламента составляет до 1,75 раза (разброс до 75 %), в то время как нелинейная экстраполяция, полученная автором, позволяет получить более достоверные значения несущей способности с точностью до 20 %.

Закключение

По результатам проведенного масштабного исследования автором получены следующие результаты:

1) выполнено районирование глубины залегания кровли основных несущих грунтовых ком-

Рис. 5. Сравнительная диаграмма соотношения несущей способности свай по результатам полевых испытаний и вычисленной по требованиям норм: а — схема I; б — схема II; в — схема III; 1 — линия фактического распределения расчетной величины и результатов; 2 — линия идеального совпадения расчетной величины несущей способности и результатов испытаний

Таблица 4

Расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности свай

Расчетные сопротивления по боковой поверхности свай f , кПа					
Пески средней плотности	Крупные и средней крупности	Глинистые грунты при показателе текучести I_L	0,2	$f = 34,716z^{0,2861}$	$R^2 = 0,9936$
	Мелкие		0,3	$f = 24,349z^{0,2902}$	$R^2 = 0,9898$
	Пылеватые		0,4	$f = 16,917z^{0,3058}$	$R^2 = 0,9820$
	—		0,5	$f = 14,259z^{0,2644}$	$R^2 = 0,9477$
	—		0,6	$f = 10,503z^{0,2261}$	$R^2 = 0,8386$
	—		0,7	$f = 5,6088z^{0,2518}$	$R^2 = 0,8369$
	—		0,8	$f = 5,1753z^{0,1694}$	$R^2 = 0,6849$
	—		0,9	$f = 4,148z^{0,2027}$	$R^2 = 0,6752$
	—		1,0	$f = 3,241z^{0,2372}$	$R^2 = 0,6844$
	—				

Примечания:

1. z — средняя глубина расположения слоя грунта, м.
2. f — расчетные сопротивления по боковой поверхности свай, кПа.
3. При определении расчетных сопротивлений грунтов на боковой поверхности свай f_i пласты грунтов следует расчленять на однородные слои толщиной не более 2 м.
4. Значения расчетного сопротивления плотных песков на боковой поверхности свай f следует увеличивать на 30 % по сравнению со значениями, приведенными в таблице.
5. Расчетные сопротивления супесей и суглинков с коэффициентом пористости $e < 0,5$ и глин с коэффициентом пористости $e < 0,6$ следует увеличивать на 15 % по сравнению со значениями, приведенными в таблице, при любых значениях показателя текучести.

Рис. 6. График распределения сил трения грунта по боковой поверхности свай до глубины 100 м

плексов Санкт-Петербурга моренных и вендских отложений, в которых преимущественно залегают свайные фундаменты;

2) фактическая несущая способность буровых свай в зависимости от расположения в моренных или вендских отложениях существенно отличается от технических регламентов (от 1,6 до 2,6 раза). При этом чем больше длина свай и чем большая ее часть расположена в морене и венде,

тем значительнее расхождение фактической несущей способности с расчетной;

3) по результатам статистической обработки результатов полевых испытаний и нелинейной экстраполяции были получены сопротивления грунтов по боковой поверхности и под острием свай для более точного расчета несущей способности буровых свай длиной до 100 м.

Таблица 5

Расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи

Расчетные сопротивления R , кПа, под нижним концом набивных и буровых свай и свай-оболочек, погружаемых с выемкой грунта и заполняемых бетоном, при глинистых грунтах, за исключением просадочных					
Пески средней плотности	Гравелистые	Глинистые грунты при показателе текучести I_L	0,0	$R = 0,7287z^2 + 67,372z + 636,88$	$R^2 = 0,9998$
	Крупные		0,1	$R = 0,4504z^2 + 69,632z + 500,81$	$R^2 = 0,9996$
	–		0,2	$R = 0,2499z^2 + 67,026z + 408,23$	$R^2 = 0,9984$
	Средней крупности		0,3	$R = 0,0403z^2 + 65,742z + 302,9$	$R^2 = 0,9998$
	Мелкие		0,4	$R = -0,2019z^2 + 66,531z + 171,75$	$R^2 = 0,9991$
	Пылеватые		0,5	$R = -0,0861z^2 + 59,195z + 110,29$	$R^2 = 0,9985$
	–		0,6	$R = -0,2276z^2 + 51,595z + 99,61$	$R^2 = 0,9985$

Примечания:

1. z — глубина заложения нижнего конца сваи, м.
2. R — расчетные сопротивления под нижним концом сваи, кПа.
3. Для промежуточных значений показателя текучести I_L глинистых грунтов значения R в таблице определяют интерполяцией.

Рис. 7. График распределения сопротивления грунта под нижним концом сваи до глубины 100 м

Библиографический список

1. Ильичев В. А., Мангушев Р. А. и др. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: АСВ, 2016. 1031 с.
2. Улицкий В. М., Шашкин А. Г., Парамонов В. Н. Определение несущей способности буровых свай // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2001. № 2. С. 13–16.
3. Конюшков В. В., Улицкий В. М. Оценка несущей способности буроинъекционных свай // Вестник гражданских инженеров. 2007. № 2 (11). С. 52–56.
4. Дашко Р. Э., Александрова О. Ю., Котюков П. В., Шидловская А. В. Особенности инженерно-

геологических условий Санкт-Петербурга // Развитие городов и геотехническое строительство. 2011. № 1. С. 1–47.

5. Мангушев Р. А., Осокин А. И., Усманов Р. А. Устройство и реконструкция оснований и фундаментов на слабых и структурно-неустойчивых грунтах. СПб.: Лань, 2018. 456 с.

6. Шулятьев О. А. Основания и фундаменты высотных зданий. М.: АСВ, 2016. 392 с.

7. Шулятьев О. А., Мозгачева О. А., Поспехов В. С. Освоение подземного пространства городов. М.: АСВ, 2017. 510 с.

8. Осокин А. И., Конюшков В. В., Дьяконов И. П., Ле Ван Чонг. Оценка несущей способности буровой сваи

Таблица 6

Оценка несущей способности буровых свай длиной более 40 м

Длина свай, м	Несущая способность свай, кН, по результатам			Соотношения фактической и расчетной несущей способности свай	
	полевых испытаний	СП 24.13330	нелинейной экстраполяции		
L	F_u	F_{d1}	F_{d2}	$k_1 = F_u / F_{d1}$	$k_2 = F_u / F_{d2}$
41	12 000	8451	11 259	1,42	1,07
41	6260	4700	5225	1,44	1,19
40	7563	5327	6246	1,42	1,20
43	35 000	21 983	28 928	1,59	1,20
44	20 000	11 416	17 391	1,75	1,15
45	20 000	11 510	17 544	1,74	1,14
47	20 000	12 121	17 075	1,65	1,17
Уравнение линейной регрессии				$F_u = 1,6F_{d1}$	$F_u = 1,2F_{d2}$
Коэффициент детерминации				$R^2 = 0,98$	$R^2 = 0,99$

Рис. 8. Сравнительная диаграмма соотношения несущей способности свай по результатам полевых испытаний и вычисленной по техническим регламентам

для строительства высотного здания с развитым подземным пространством // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 4 (75). С. 58–67.

9. 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.

10. 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.

11. Сидоров В. В. Напряженно-деформированное состояние неоднородного грунтового массива, взаимодействующего с барретами большой длины: дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 159 с.

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

13. Шашкин А. Г. Проектирование зданий и подземных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. М.: Издательство «Академическая наука» — Геомаркетинг, 2014. 352 с.

14. 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.

15. Мангушев Р. А., Еришов А. В., Осокин А. И. Современные свайные технологии. 2-е изд., доп. М.: АСВ, 2010. 240 с.

16. Тер-Мартirosян А. З., Тер-Мартirosян З. Г., Чинь Туан Вьет, Лузин И. Н. Осадка и несущая спо-

способность длинной сваи // Вестник Московского гос. строит. ун-та. 2015. № 5. С. 52–61.

References

1. Il'ichev V. A., et al. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya* [Handbook of geotechnical engineering. Bases, foundations, and underground structures]. Moscow, ASV Publ., 2016, 1031 p.
2. Ulitskiy V. M., Shashkin A. G., Paramonov V. N. *Opreделение nesushchey sposobnosti burovyykh svay* [Determination of the bearing capacity of drilling piles]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov – Bases, foundations and soil mechanics*, 2001, no. 2, pp. 13–16.
3. Konyushkov V. V., Ulitskiy V. M. *Otsenka nesushchey sposobnosti buroin'ektsionnykh svay* [Evaluation of the bearing capacity of bored-injection piles]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2007, no. 2 (11), pp. 52–56.
4. Dashko R. E., Aleksandrova O. Yu., Kotyukov P. V., Shidlovskaya A. V. *Osobennosti inzhenerno-geologicheskikh usloviy Sankt-Peterburga* [Features of engineering and geological conditions of Saint Petersburg]. *Razvitie gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo – Urban development and geotechnical construction*, 2011, no. 1, pp. 1–47.
5. Mangushev R. A., Osokin A. I., Usmanov R. A. *Ustroystvo i rekonstruktsiya osnovaniy i fundamentov na slabykh i strukturno-neustoychivyykh gruntakh* [Design and reconstruction of bases and foundations on weak and structurally unstable soils]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2018, 456 p.
6. Shulyat'ev O. A. *Osnovaniya i fundamenty vysoknykh zdaniy* [Bases and foundations of high-rise buildings]. Moscow, ASV Publ., 2016, 392 p.
7. Shulyat'ev O. A., Mozgacheva O. A., Pospekhov V. S. *Osvoenie podzemnogo prostranstva gorodov* [Development of underground space of cities]. Moscow, ASV Publ., 2017, 510 p.
8. Osokin A. I., Konyushkov V. V., D'yakonov I. P., Le Van Chong. *Otsenka nesushchey sposobnosti burovoy svai dlya stroitel'stva vysoknogo zdaniya s razvitym podzemnym prostranstvom* [Assessment of the bearing capacity of a drill pile for the construction of a high-rise building with a developed underground space]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 4 (75), pp. 58–67.
9. Konyushkov V. V., Kondrat'eva L. N., Kirillov V. M., Le Van Chong. *Uskorennyye sposoby opredeleniya nesushchey sposobnosti burovyykh svay* [Accelerated methods for determining the bearing capacity of drilling piles]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 3 (74), pp. 52–60.
10. Ter-Martirosyan A. Z., Ter-Martirosyan Z. G., Luzin I. N. *Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye osnovaniy fundamentov glubokogo zalozheniya* [Stress-strain state of the bases of deep foundations]. *Vestnik Permskogo nats. issled. politekhn. un-ta. Stroitel'stvo i arkhitektura – Bulletin of the Perm National Polytechnic University. Construction and architecture*, 2017, vol. 8, no. 2, pp. 96–103.
11. Sidorov V. V. *Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye neodnorodnogo gruntovogo massiva, vzaimodeystvuyushchego s barretami bol'shoy dliny. Diss. kand. tekhn. nauk* [Stress-strain state of an inhomogeneous soil mass interacting with long-length barrettes. PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2013, 159 p.
12. Dalmatov B. I., Lapshin F. K., Rossikhin Yu. V. *Proektirovaniye svaynykh fundamentov v usloviyakh slabykh gruntov* [Design of pile foundations in weak soil conditions]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1975, 240 p.
13. Shashkin A. G. *Proektirovaniye zdaniy i podzemnykh sooruzheniy v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh Sankt-Peterburga* [Design of buildings and underground structures in complex engineering and geological conditions of St. Petersburg]. Moscow, Akademicheskaya nauka–Geomarketing Publ., 2014, 352 p.
14. Mangushev R. A., Konyushkov V. V., D'yakonov I. P. *Analiz prakticheskogo primeneniya zavinchivaemykh nabivnykh svay* [Analysis of the practical application of screw-on stuffed piles]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov – Bases, foundations and soil mechanics*, 2014, no. 5, pp. 11–16.
15. Mangushev R. A., Ershov A. V., Osokin A. I. *Sovremennyye svaynye tekhnologii* [Modern pile technologies]. 2-nd ed., revised. Moscow, ASV Publ., 2010, 240 p.
16. Ter-Martirosyan A. Z., Ter-Martirosyan Z. G., Chin' Tuan V'et, Luzin I. N. *Osadka i nesushchaya sposobnost' dlinnoy svai* [Settlement and bearing capacity of a long pile]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta – Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering*, 2015, no. 5, pp. 52–61.