

УДК 624.154.54: 624.131.35

#### Аннотация

В статье приводятся результаты исследования работы буронабивных свай Ø900 мм длиной от 5 до 10 м методом CFA в грунтовых условиях на площадке строительства в Минске здания штаб-квартиры Национального олимпийского комитета Республики Беларусь. Приведены результаты статических испытаний свай вертикально-вдавливающей нагрузкой и результаты статического зондирования, проанализированы результаты для прогноза несущей способности оснований этих свай и преимущества устройства буронабивных свай данной технологией в естественных условиях строительства, сопоставлены результаты статического и динамического зондирования, определен поправочный коэффициент в данном объекте.

Ключевые слова: сваи CFA, несущая способность, статическое зондирование, динамическое зондирование.

Ил. 8. Библиогр.: 15 назв.

#### ANALYSIS THE RESULTS OF PENETRATION AND CFA PILE LOADING TEST

##### Abstract

The article presents the results of a study of bored piles (CFA pile) with Ø900 mm and length from 5 to 10 m, in ground conditions on the construction site in Minsk, the building of the National Olympic Committee of Belarus. Represents the results of the pile loading tests, penetration tests, analyzed the results for prediction of bearing capacity of piles CFA and advantages of the device of bored piles of this technology, compares the results of static and dynamic penetration tests and correlation factor between them defined in this object.

Key words: CFA pile, bearing capacity, cone penetration test, dynamic probing test.

Fig. 8. Ref.: 15 titles.

# АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЗОНДИРОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЙ СВАЙ CFA



Моради Сани Б.

#### Введение

Устройство буронабивных свай методом CFA (Continuous Flight Auger), или НПШ (непрерывный полый шнек), – один из наиболее распространенных методов устройства буронабивных свай за рубежом, в последнее время постепенно обретающий популярность в Республике Беларусь. Скорость и экономичность конструкции свай данного типа могут обеспечить большие преимущества для инженеров во многих проектах и грунтовых условиях. Они являются наиболее подходящими для использования в песчаных грунтах. Наиболее достоверные данные о несущей способности свай дают их статические испытания в конкретных инженерно-геологических условиях, которые и предусматриваются действующими нормами [1–6, 8] с целью принятия обоснованных и экономичных решений нулевого цикла. Получаемые при испытаниях результаты позволяют в случае необходимости корректировать принятые исходные расчетные предпосылки при разработке проектов на базе прогноза несущей способности оснований свай по данным зондирования или табличным значениям сопротивлений грунтов. В Беларуси про-

ектированию и устройству буронабивных свай системы CFA способствует существующая нормативная база [2–6].

#### Описание и основные механизмы

Технология непрерывного полого шнека (НПШ) основана на бурении грунтов колонной полых шнеков и последующем заполнении скважины бетоном при подъеме шнека. Подача бетона в скважину происходит через внутреннюю полость колонны шнеков при контролируемом давлении с помощью бетононасоса. Затем в бетон с помощью вибропогружателя опускается каркас (рис. 1).



Рис. 1. Технологическая последовательность для установки буронабивных свай по технологии CFA

В отличие от обычных методов бурения метод полого шнека не дает возможности непосредственно наблюдать за этапами установки сваи, поэтому бурение и бетонирование контролируются автоматически. Система мониторинга отслеживает скорости вращающего момента. На этапе бетонирования специальными датчиками контролируется давление подаваемого бетона, его поставка в соответствии с расчетным диаметром сваи и скорость извлечения.

Все данные отображаются на дисплее в кабине оператора. Такой мониторинг дает возможность оператору в онлайн-режиме устанавливать диаметр сваи. Данная технология не производит шума, вибрации, ударов, позволяя работать в городе (населенных пунктах). Требуемое оборудование (установка и бетононасос) дает возможность минимизировать участок работы и работать в ограниченных районах.

### Схемы статических испытаний свай

Испытательные нагрузки на сваи обычно создают с помощью грузовых платформ (рис. 2) или домкратов с их упором в анкеруемые конструкции. При балочной конструкции для ее закрепления чаще всего используют смежные выдерживаемые сваи, винтовые или буроналивные анкеры, располагаемые на удалении от испытываемой сваи для исключения взаимного влияния. Упорные балки больших пролетов должны иметь увеличенные поперечные сечения, особенно при испытании свай повышенной несущей способности. Для их испытания усилием вдавливания до 5000 кН ОАО «Буровая компания «Дельта» изготовило стенд в виде удерживаемой системы винтовых анкеров перекрестной балочной конструкции (рис. 3) [9].



Рис. 2. Платформа для испытания свай с грузами из бетонных плит и блоков

Характеристики грунтов основания [10]

Таблица 1

№ ИГЭ	Наименование грунта	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$c_u$ , кПа	$\phi_u$ , град.	$E$ , МПа
1	Насыпной грунт	18,7/9,3	–	–	–
2	Песок пылеватый средней прочности	17,6/10,3	4,0	30	18
3	Песок пылеватый прочный	17,7/10,4	6,0	34	36
4	Песок мелкий средней прочности	17,8/10,3	2,0	32	25
5	Песок мелкий прочный	–/10,3	4,0	36	38
7	Песок крупный средней прочности	–/10,6	1,0	39	25
8	Песок крупный прочный	–/10,6	1,0	41	41
9	Суглинок пылеватый слабый	20,1	19	18	4,6
10	Суглинок пылеватый средней прочности	20,2	30	21	15
11	Суглинок пылеватый прочный	20,4	39	21	21
12	Суглинок пылеватый очень прочный	20,4	42	21	27
13	Супесь средней прочности	21,9	45	27	12
14	Супесь прочная	21,9	44	27	22
15	Супесь очень прочная	21,5	48	31	26

В знаменателе даны значения удельных весов во взвешенном состоянии



Рис. 3. Балочный стенд для испытания свай при вдавливании до 5000 кН

### Особенности инженерно-геологических условий

В связи с разными свойствами грунтов (табл. 1) и характером напластований свай [10] имели длины 7,5; 8,5 и 9,5 м и диаметры по 0,9 м. В этих условиях их вдавливали нагрузками от 2500 до 4000 кН. При этом несущие способности составили от 2500 до 3800 кН при осадках 24 мм согласно [1].

### Определение несущей способности свай по результатам полевых исследований

Графики зависимостей осадок свай от вдавливающих усилий на рисунке 4, а имеют большой разброс, а при обработке в относительных величинах в единой системе координат на рисунке 4, б они все сгруппированы

тесно [9, 10]. При этом опытные соотношения, принятые для предельных значений осадок 24 мм и для максимально достигнутых от 28,32 мм до 52,14 мм, практически дают одинаковый характер кривизны графиков. Такое свойство графиков в относительных величинах позволяет с достаточной степенью достоверности прогнозировать несущие способности оснований свай посредством нелинейной экстраполяции в случае достижения при испытании свай ограниченных нагрузок с осадками менее требуемых значений [8] и даже допустимых согласно [1].

При проектировании несущую способность оснований свай прогнозируют суммированием расчетных сопротивлений грунтов на боковой поверхности и под нижними концами и уширениями при их наличии. Эти сопротивления определяют по итогам зондирования [2] или табличным значениям [4, 6], полученным в результате статистической обработки опытных данных для различных глубин и соответствующих грунтов с учетом изменчивости их свойств за счет технологических особенностей устройства свай [3–7]. Достоверность такого прогноза попытались оценить сравнением с данными испытаний свай статическими нагрузками согласно [8] в конкретных геологических условиях.

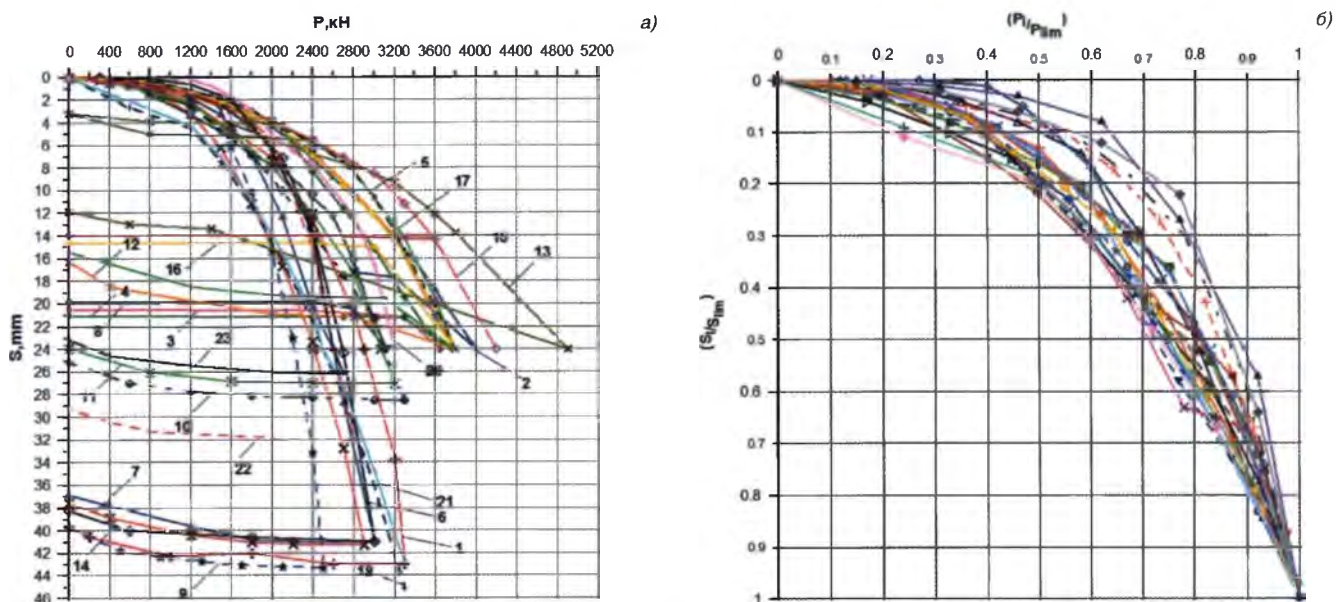


Рис. 4. Графики зависимостей осадок от нагрузок для свай № 1–23: а – абсолютные; б – относительные значения

В таблице 2 приведены значения сопротивлений грунтов вдоль боковых поверхностей и под нижними концами свай по результатам их статических испытаний согласно [7] и вычисленные с учетом статического или динамического зондирования [2] и по табличным расчетным сопротивлениям

грунтов [3–5]. Анализ этих значений указывает на малую достоверность прогноза несущей способности оснований буронабивных свай по результатам зондирования и по табличным расчетным сопротивлениям грунтов.

На рисунке 5 представлены результаты определения несущей способно-

сти свай по методике ТКП в сопоставлении с нормативными сопротивлениями свай,  $F_{расч}$ , полученными по данным статических испытаний,  $F_{ст}$ .

В результате проведенного статистического анализа опытных данных получены соотношения между результатами испытаний статической

**Значения в кН сопротивлений грунтов по боковым поверхностям, под нижними концами свай и суммарные, определенные разными методами**

Таблица 2

Свай'	L, м	Значения сопротивлений в кН, определенные		
		статическими испытаниями	по расчетным сопротивлениям [13, 19]	$F_{ст}/F_{расч}$
1	8,7	2900 = 1800 + 1100	4565.4	0,635
2	8,4	3600 = 2200 + 1400	4031	0,893
3	8,6	3600 = 2200 + 1400	1379	2,611
5	8,6	3600 = 2000 + 1600	1878	1,917
6	8,7	2600 = 1600 + 1000	1581	1,645
7	8,7	2405 = 1400 + 1005	4715	0,510
8	8,9	3000 = 1500 + 1500	2548	1,177
10	9,25	3100 = 1600 + 1500	1930	1,606
11	9,25	3067 = 1600 + 1467	1897	1,617
12	11,0	3600 = 2200 + 1400	3940	0,914
14	10,6	2700 = 2000 + 700	1973	1,368
17	12,9	3600 = 2100 + 1500	2999	1,200
18	12,9	2500	3061	0,817
20	13,0	3000 = 2000 + 1000	2678	1,120
21	13,0	2500 = 1200 + 1300	2714	0,921
22	13,4	2600 = 2000 + 600	3145	0,827

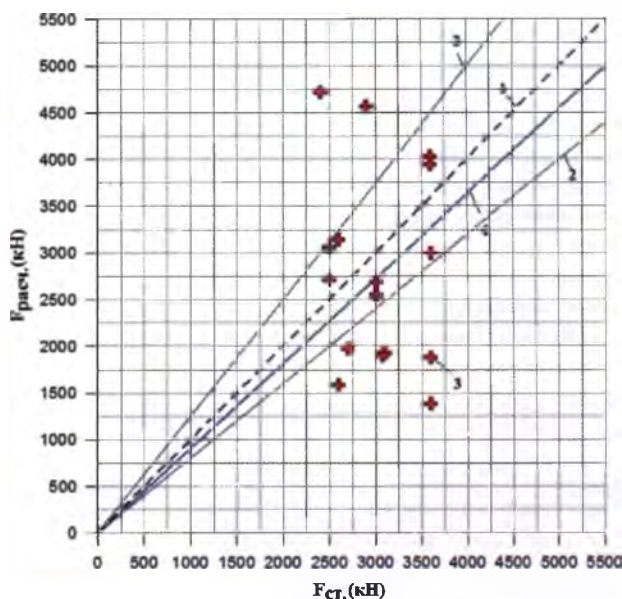


Рис. 5. График соотношений между значениями несущих способностей свай СФА: 1 – линии абсолютной сходимости; 2 – линии отклонений на ±20%; 3 – опытные точки для полученных соотношений; 4 – то же, наиболее соответствующая линия с использованием поправочного коэффициента

нагрузкой свай CFA и расчетными сопротивлениями по нормативным документам. Такой анализ опытных данных (табл. 3) позволил при коэффициенте детерминации  $R^2 = 0,806$  получить для полученной зависимости расчетную формулу:

$$F_{ст} = 1,10F_{расч}, \quad (1)$$

где  $F_{ст}$  – прогнозируемая несущая способность свай по результатам испытаний статической нагрузкой свай SFA, кН;

$F_{расч}$  – прогнозируемая несущая способность свай, рассчитанная по нормам, кН.

**Результаты статического и динамического зондирования на объектах, а также корреляционные зависимости между ними**

В таблице 4 приведены результаты совместных исследований процессов статического и динамического зондирования на площадке с песчаными грунтами. Среднее сопротивление грунта проникновению зонда на расчетном отрезке  $5d$  (один  $d$  выше,  $4d$  – ниже отметки острия свай, где  $d$  – сторона квадратной или диаметр круглой свай, м).

На рисунке 6 приведены графики сопротивлений грунтов при статическом и динамическом зондировании в одной из точек в объекте [11].

Пенетрационный каротаж (ПК) и статическое зондирование (СЗ) выполнены согласно [12] с использованием каротажных станций СПК и СПК-Т зондом диаметром 62 мм и приставкой (СЗ) к установке ПБУ зондом II типа диаметром 36 мм. Усилия при этом составили: вдавливания – 19 кН, извлечения – 25 кН. Максимальная глубина зондирования на площадке № 1 достигла 14 м.

Статическое зондирование (СЗ) выполнено по [12] установкой GeoMil Equipment с регистрацией: удельного сопротивления под наконечником зонда  $q_c$ , МПа; удельного сопротивления на участке боковой поверхности зонда  $f_{sp}$ , кПа.

Для изучения прочности грунтов нижней части разреза до заданной глубины, а также для сравнительной оценки прочности грунтов двумя видами зондирования выполнено 7 точек динамического зондирования (ДЗ) согласно [12].

**Статистический анализ данных испытаний статической нагрузкой свай CFA и расчетного сопротивления по нормам [4, 6]**

Таблица 3

Несущая способность свай	Среднее арифметическое ( $\bar{x}$ )	Стандартное отклонение (s)	Коэффициент вариации ( $V_x$ ), %	Медиана (Median)	Коэффициент асимметрии ( $A_x$ )
$F_{ст}$	3023,25	453,13	14,99	3000	0,204
$F_{расч}$	2814,63	1049,38	37,28	2696	0,512

**Результаты сопротивления грунтов вдоль боковых поверхностей и под нижним концом свай на площадке**

Таблица 4

№ свай	L, м	D, м	Статические зондирование		Динамическое зондирование	
			$F_{сз}$ , кН	$N_{сз} = F_{сз}/1,25$	$F_{дз}$ , кН	$N_{дз} = F_{дз}/1,3$
4	8,7	0,9	2033 = 1076 + 957	1626	1663	1279
7	8,7	0,9	3443 = 2508 + 934	2755	2735	2104
11	9,25	0,9	2112 = 1280 + 832	1690	1659	1276
21	8,0	0,9	2474 = 1940 + 534	1979	2289	1761
30	5	0,9	2790	2232	2074	1595
31	8,4	0,9	2179	1743	2620	2015
43	9	0,9	2963 = 2112 + 851	2370	2483	1910
49	8	0,9	2474 = 1940 + 534	1979	2289	1761
50	8	0,9	2699 = 1953 + 746	2159	2471	1901
54	7	0,9	3326 = 2863 + 463	2661	3349	2576
66	6	0,9	2466	1897	2284	1757
77	9	0,9	3424 = 1979 + 1445	2739	3804	2926
83	10	0,9	3242 = 1756 + 1486	2594	3223	2479

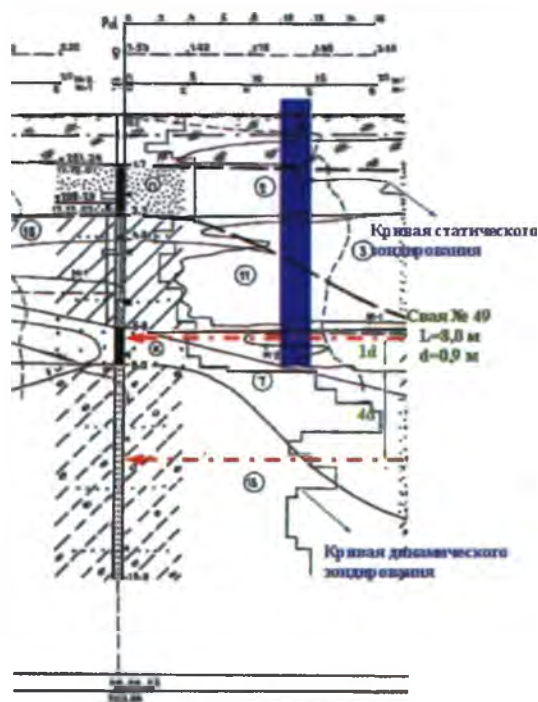


Рис. 6. График статического и динамического зондирования в одной из точек испытаний в объекте

Сравнение приведенных на рисунке 6 данных выявило взаимосвязь между результатами статического и динамического зондирования. Статистическая обработка этих данных (табл. 5) позволяет получить поправочные коэффициенты для расчетных формул определения несущих способностей свай [13].

В частности, для сваи CFA диаметром 0,9 м при коэффициенте детерминации  $R^2 = 0,974$  получена следующая расчетная формула:

$$F_{сз} = 1,06F_{дз} \quad (2)$$

где  $F_{сз}$  – прогнозируемая несущая способность свай по результатам статического зондирования, кН;

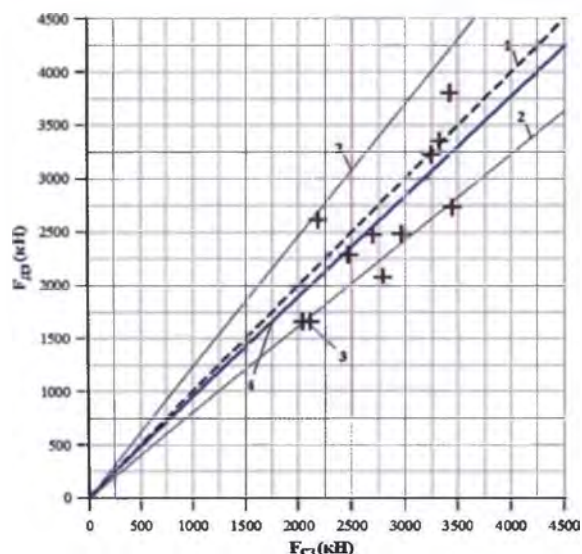
$F_{дз}$  – прогнозируемая несущая способность свай по результатам динамического зондирования, кН.

На рисунке 7 сопоставлены результаты статического и динамического зондирования для сваи CFA (диаметр 0,9 м).

Результаты показывают, что в большинстве случаев несущие способности свай, определенные с использованием поправочных коэффициентов, находятся в пределах  $\pm 20\%$  от линии абсолютной сходимости. Однако в ряде случаев имеется существенное расхождение, и отношение  $\lambda = F_{сз}/F_{дз}$  превышает этот предел.

#### Параметры статистической обработки данных статического и динамического зондирования для объекта

Несущая способность свай	Среднее арифметическое ( $\bar{y}$ )	Стандартное отклонение (s)	Коэффициент вариации ( $V_s$ ), %	Медиана (Median)	Коэффициент асимметрии ( $A_s$ )
$F_{сз}$	2740,38	503,07	18,4	2699	0,129
$F_{дз}$	2534,08	627,47	24,8	2471	0,578



## ВЫВОДЫ

1. Новые геотехнические технологии устройства буронабивных свай обеспечивают опрессовку окружающих стволов грунтов с получением высоких значений несущей способности оснований.

2. Прогнозируемые при проектировании значения несущих способностей оснований свай по результатам зондирования и по табличным расчетным сопротивлениям грунтов могут быть заниженными или завышенными по сравнению с фактическими в реальных грунтах.

3. Устройство буронабивных свай методом CFA (полым шнеком) комбинируют достоинства набивных свай без извлечения из грунта и универсализм буронабивных свай: надежность, высокую несущую способность и технологичность. Метод предоставляет возможность сооружать сваи в разнообразных грунтах: плотных, сухих, заболоченных, рыхлых. Он прекрасно зарекомендовал себя в известняке, слабых породах, туфех, песчанике, суглинке. Отсутствие ударного воздействия и вибрации является еще одним из преимуществ метода полого шнека.

Таблица 5

4. При устройстве буронабивных свай по технологии CFA подтверждается высокая несущая способность и производительность, что вызывает значительный экономический эффект.

5. Соотношения между значением несущей способности свай CFA при использовании расчетных сопротивлений по нормам и полученных по результатам их испытаний статической нагрузкой находятся в пределах 1,10.

6. Прогнозируемая несущая способность свай по результатам статического зондирования в среднем превышает 6%-ные результаты, полученные по динамическому зондированию для сваи CFA диаметром 0,9 м при коэффициенте детерминации  $R^2 = 0,974$ .

#### Литература

- СНБ 5.01.01-99. Основания и фундаменты зданий и сооружений. – Минстройархитектуры РБ. – Минск, 1999. – 36 с.
- Пособие П 2-2000 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов. – Минстройархитектуры РБ. – Минск, 2001. – 23 с.
- Пособие П 4-2000 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование забивных свай. – Минстройархитектуры РБ. – Минск, 2001. – 68 с.
- Пособие П 13-01 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование и устройство буронабивных свай. – Минстройархитектуры РБ. – Минск, 2002. – 43 с.
- Пособие П 18-04 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование и устройство буринъекционных анкеров и свай. – Минстройархитектуры РБ. – Минск, 2005. – 79 с.
- Пособие П 19-04 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование и устройство фундаментов из свай с уплотненным основанием. – Минстройархитектуры РБ. – Минск, 2006. – 88 с.
- ТКП 45-5.01-45-2006 (02250). Фундаменты и подземные сооружения, возводимые с использованием струйной технологии. Правила проектирования и устройства. – Минстройархитектуры РБ. – Минск, 2006. – 33 с.
- ГОСТ 5686-94. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. МНТКС. – Минск, 1995. – 36 с.
- Никитенко, М.И., Моради Сани, Б., Черношей, Н.В., Шипица, В.И. Анализ результатов испытаний буронабивных свай системы CFA / М.И. Никитенко, Б. Моради Сани, Н.В. Черношей, В.И. Шипица // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: науч.-техн. конф.: сб. тр. / Санкт-Петербургский гос. арх.-строит. ун-т – СПб, 2010. – С. 213–218.
- Никитенко, М.И., Моради Сани, Б. Методы определения несущей способности свай по технологии SFA / М.И. Никитенко, Б. Моради Сани, Н.В. Черношей // Строительная наука и техника. – 2008. – № 1 (34). – С. 43–49.
- Объект № 2733/07-02 Штаб квартира Национального олимпийского комитета, УП «ГЕОСЕРВИС», Минск. – 2010 г.
- ГОСТ-19912-01. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием
- Родкевич, Г.С. Определение характеристик грунтов и несущей способности забивных свай статическим зондированием с применением зондов с муфтой трения: автореф. дис...канд. техн. наук: 05.23.02 / Г.С. Родкевич; Мин-во высшего и сред. спец. образования РСФСР, Пермский политехн. ин-т. – Пермь, 1986. – 40 с.
- ГОСТ 5686-94 Грунты. Методы полевых испытаний сваями. – М.: Издательство стандартов, 1994.
- Zhusupbekov A.Zh., Ashkey Y., Popov V.N. и др. Analyzing the static test of boring piles through CFA technology, Proceedings 4th International Conference on Soft Soil Engineering – Ванкувер, 2006. – P. 213–215.