

**Кравцов Владимир Николаевич**, канд. техн. наук,  
заведующий лабораторией научно-исследовательского  
отдела РУП «Институт БелНИИС», г. Минск  
**Аль-Тамими Саиф**, магистр техн. наук,  
аспирант УО «Белорусский национальный  
технический университет», г. Минск

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВИНТОВЫХ СВАЙ

### THE EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS AND USAGE OF METAL SCREW PILES

#### Аннотация

*В статье приводятся основные результаты по исследованию, разработке конструкций металлических винтовых свай, методов их расчета и внедрению. Подтверждена технико-экономическая эффективность свай для грунтовых условий Республики Беларусь.*

#### Abstract

*The main results on investigation, development of the structures of metal screw piles, design methods and adoption are shown in this article. Confirmed technical and economic efficiency such piles for soil conditions of the Republic Belarus*

#### ВВЕДЕНИЕ

Современная отечественная практика показывает, что свайные фундаменты относятся к одному из самых эффективных направлений фундаментостроения, где задача сбережения энергии и ресурсов решается наиболее успешно [1, 9] за счет снижения объемов земляных работ (до 80 % и более), возможности полной механизации и индустриализации свайных работ и др. Это в первую очередь относится к фундаментам из металлических винтовых свай (далее – сваи ВС) [2].

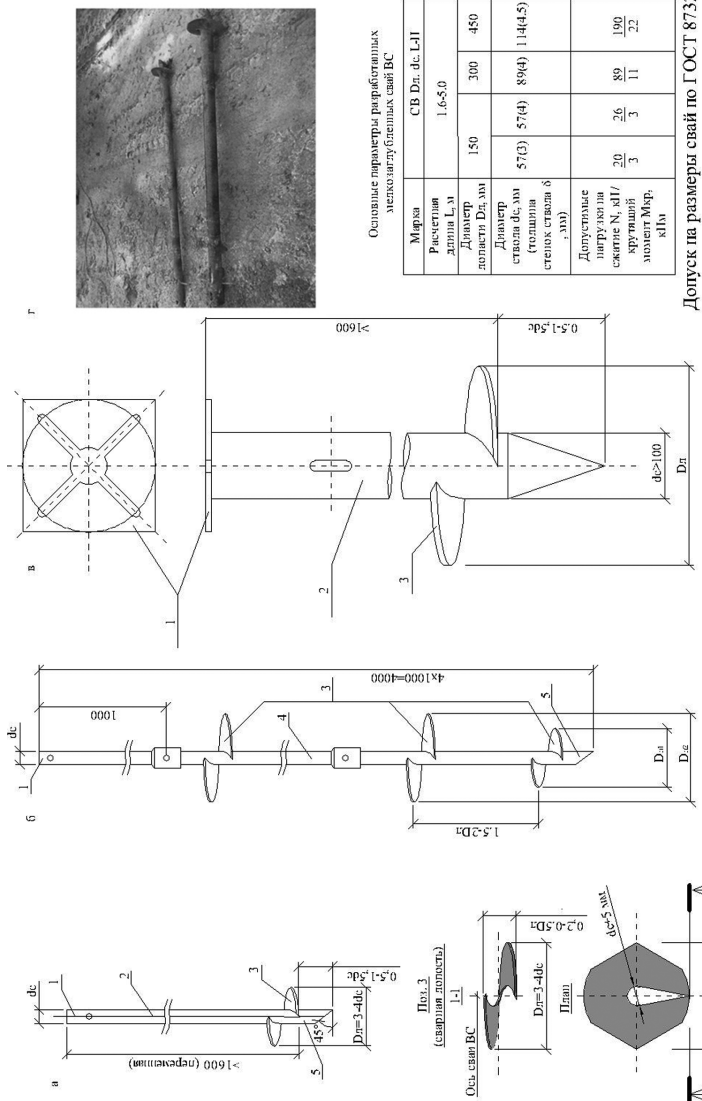
Преимущество этих конструкций особенно возрастает и становится приоритетным при использовании их для зданий и сооружений, передающих на фундаменты комбинированные (вдавливающие, выдергивающие, моментные) нагрузки, возводимых на специфических основаниях (обводненных «слабых» и др.) или для объектов, удаленных от строительных заводов и баз материалов.

История свай ВС насчитывает около 3000 лет. В то время в Египте и Индии их использовали в качестве якорей и анкеров. В современном виде сваи ВС стали активно применять в Англии начиная с 18 века в качестве глубоких опор для фундаментов причалов, мостов, маяков и др. [7,12 и др.] (рис. 1).

Однако сваи ВС глубокого заложения не оправдали себя в гражданском и жилищном строительстве в силу сложности и громоздкости конструкций, повышенной трудоемкости и низкой производительности оборудования.



**Рисунок 1.** Примеры конструкций, способа погружения и первых (XIX век) объектов на фундаментах из винтовых свай, сохранившихся до наших дней:  
 а – конструкция и технология изготовления свай ВС;  
 б – маяк Carysfort Reef Light (1852);  
 в – маяк Fowey Rocks Light (1878)



**Рисунок 2.** Общий вид мелкозаглубленных винтовых свай, внедряемых в Республика Беларусь: а – цельная свая ВС диаметром  $d_c \leq 100$  мм, с обновитковой лопастью и открытым нижним торцом; б – то же, со сборным стволом из отдельных элементов; в – то же, со стволом ВС  $d_c > 100$  мм с фланцевым оголовком и острием в торце сваи; г – общий вид готовых свай ВС перед погружением

В России сваи ВС применялись с середины XIX века для быстрого возведения фундаментов объектов военного назначения на неподготовленных площадках с неблагоприятными условиями (сложный рельеф, грунтовые условия и др.).

В XX веке в бывшем СССР, а позже в РФ и Республике Беларусь сваи ВС стали активно использоваться гражданскими строителями для глубоких опор мостов, ЛЭП, трубопроводов, опор антенн сотовой связи, подпорных стен, трубопроводов и др. В Санкт-Петербурге, Москве и в последнее время в Республике Беларусь мелкозаглубленные сваи ВС применяются в малоэтажном строительстве или при возведении временных сооружений (коттеджи, стойки биг-бордов, остановочные павильоны, указатели, дорожные знаки, элементы садово-парковой архитектуры и др.) [7,12 и др.].

Анализ отечественного и зарубежного опыта показал, что применение современных конструкций винтовых свай, в том числе в сложных грунтовых условиях, по сравнению с традиционными методами (забивка, вибропогружение, вдавливание готовых свай или изготовление буронабивных свай, в т. ч. с уширением), дает значительный технико-экономический эффект по многим показателям. В два-три раза сокращаются продолжительность и объем работ, на 30–50 % уменьшается расход материала [7,12].

На сегодняшний день имеется достаточно большое количество винтовых свай различных типов. Установлено, что они особенно эффективны в диапазоне вертикальных и моментных нагрузок до 1000 кН и горизонтальных – до 500 кН. Однако широкое их внедрение в Республике Беларусь сдерживается отсутствием нормативно-технической базы по проектированию (расчету) в грунтовых условиях Республики Беларусь. Установлено, что отклонение расчетных значений несущей способности винтовых свай от их фактических величин согласно известным методам расчета [2, 3 и др.] достигает 50 % и более как в сторону занижения, так и в сторону завышения.

В связи с этим РУП «Институт БелНИИС» выполнил ряд исследований по разработке эффективных конструкций мелкозаглубленных свай ВС (рис. 2), изучению особенностей их работы в зависимости от размеров, характера загрузки, условий изготовления и совершенствованию методов проектирования.

В частности, проведена работа по составлению таблиц расчетных сопротивлений для песчаных и глинистых грунтов под/над лопастью R и на боковой поверхности f винтовой сваи на основе

экспериментальных данных и с помощью вероятностно-статистического метода их оценки. Разработана методика оценки устойчивости коротких винтовых свай на выдергивание и др. [3–5 и др.].

Ниже приводятся основные результаты экспериментальных исследований и апробации свай ВС в производственных условиях.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИНТОВЫХ СВАЙ И ИХ АНАЛИЗ**

Экспериментальные исследования свай ВС выполнены лабораторными и полевыми натурными методами с использованием отечественных механизмов, оборудования, маломасштабных моделей и лабораторных лотков.

В процессе исследований проведена проверка предложенных конструктивных и технологических решений и способа их реализации в производственных условиях. Задачами исследований являлось:

- опытные работы по оптимизации способа погружения и исследования характера работы свай ВС на выдергивающие и вдавливающие нагрузки;

- анализ полученных результатов исследований и данных, собранных по литературным и отчетным источникам.

Полевые и лабораторные исследования в объеме указанных задач включали:

- изготовление комплекта модельных и натуральных свай ВС по рабочим чертежам РУП «Институт БелНИИС» (рис. 2), размерами (диаметр ствола  $d_c$ , лопасти  $D_n$ ): 57–150; 78–250; 87–250; 108–300 мм, длиной от 2 до 5 м, а также маломасштабных их аналогов для лотковых исследований;

- исследование напряженно-деформативного состояния модельных и натуральных свай ВС в лабораторных и полевых условиях с определением активной деформируемой зоны свай мелкого и глубокого заложения;

- испытание моделей и натуральных свай ВС на вдавливающие и выдергивающие нагрузки;

- обработку технологии погружения моделей и готовых свай на опытных площадках.

В частности, экспериментальным путем установлены:

- 1) особенности работы одиночной сваи ВС в песчаных и глинистых грунтах;

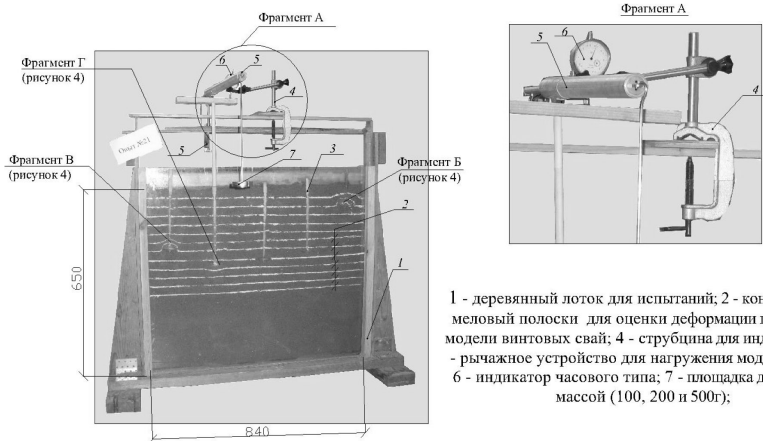
- 2) закономерности распределения деформаций основания свай ВС, нагруженных постоянной вертикальной и горизонтальной нагрузками в зависимости от их длины и шага;

3) размеры сжимаемой зоны свай ВС по глубине и простира-нию (вдоль боковых поверхностей и ниже острия свай);

4) несущая способность свай ВС в зависимости от глубины по-гружения концов отдельных свай и диаметра лопасти и ствола;

5) коэффициент перехода от несущей способности одиночной защемленной сваи к несущей способности свайного куста с раз-личной длиной отдельных свай по глубине.

Исследование свай ВС (по рис. 2) в лабораторных условиях вы-полнены на их моделях разных размеров, изготовленных с учетом требований теории подобия, которые испытывались на выдерживающие и вдавливающие статические нагрузки. Это позволило оценить влияние размеров и глубины погружения свай ВС на фор-мирование их активной (деформированной) зоны. Исследования лабораторными методами проводились с использованием плоско-го лотка. Он выполнен в виде ящика размером  $840 \times 650$  (b  $\times$  h) мм со стеклянными стенками для возможности визуального наблюде-ния за развитием процесса деформации модели основания сваи ВС во время его испытания (рис. 3).



**Рисунок 3.** Общий вид плоского лотка и оборудования с моделями свай ВС в процессе их испытания

Фиксация деформаций грунта в процессе испытания проводи-лась по форме изменения горизонтальных меловых полосок, вы-полненных у передней стеклянной стенки лотка при формировании

грунтового основания. Испытаны маломасштабные деревянные модели винтовых свай, масштаб 1 : 10 – 1 : 20. В качестве грунта использовались пески мелкий и средний от рыхлых до плотных, с характеристиками: сцепление  $c = 0 - 0,01$  МПа; угол внутреннего трения  $\varphi = 20-27^\circ$ ; влажность  $w = 5-9$  %; плотность  $\rho = 1,57-1,65$  т/м<sup>3</sup>, а также суглинок и супесь ( $\rho = 1,6$  т/м<sup>3</sup>;  $c = 0,25$  МПа;  $I_L = 0,5-0,6$ ).

Процесс испытания моделей винтовых свай ВС в лотке заключался в их загрузке последовательно: сначала вдавливающей, а затем выдергивающей вертикальной нагрузками с параллельным определением активной зоны (деформирования грунта вокруг них).

Деформации измерялись индикаторами часового типа с точностью измерений до 0,01 мм. Отсчеты по индикатору снимались через 15 мин и заносились в журнал. Ступени нагружения составляли 1/10 полной нагрузки. Каждая последующая ступень нагружения прикладывалась после условной стабилизации деформации грунта: 0,1 мм за последние 15 мин.

В опытах применялись маломасштабные деревянные модели винтовых свай с заложением лопасти на глубине от поверхности 3–10  $D_{\text{л}}$ , размерами: ствол диаметром  $\varnothing 10$  и 14 мм; лопасть  $\varnothing 20-50$  мм, глубина погружения 10 – 30 см (рис. 2). Каждый тип модельной сваи, отличающийся диаметром или длиной, испытывался, с трехкратной повторяемостью.

Пример испытания трех коротких ( $\lambda \leq 6D_{\text{л}}$ ) модельных свай ВС на выдергивающие, вдавливающие нагрузки и результаты измерения характера деформирования грунта вокруг них даны на рис. 4 и 5.

Натурные испытания разработанных свай ВС выполнены на трех опытных площадках по стандартной методике СТБ [9] с откопкой отдельных свай и замером деформируемой зоны вокруг них с использованием зонда плотномера по методике [10] с целью проверки результатов лабораторных исследований.

Нагружение испытываемых свай осуществлялось гидравлическим домкратом ДГ50 или силовыми цилиндрами ЦС100, реактивные усилия от которых передавались через металлическую балку конструкции ЦОиФ ОАО «Стройкомплекс», заанкеренную в грунте винтовыми сваями с диаметром ствола  $\varnothing 219$  мм и диаметром лопасти  $\varnothing 500$  мм, которые располагались на расстоянии не менее  $3d$  от испытываемых свай ВС (рис. 6).

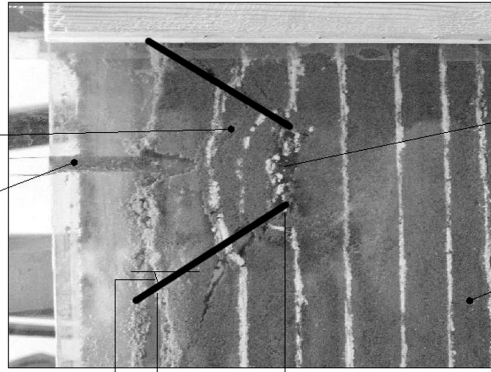
Давление в системе поддерживалось при помощи насосной станции НСР 400 и контролировалось манометром на 400 атм. с ценой деления 5 атм. (рис. 6).



Фрагмент Б

А Ствол модельной  
сваи ВС

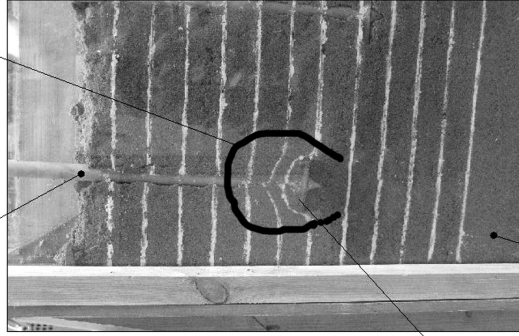
Конус выпора



Лопать модели  
сваи ВС диаметром  $D_n$

Фрагмент В

Ствол модельной  
сваи ВС



Песок средний ( $w=9\%$ ;  $\rho=1,57\text{т/м}^3$ )

Фрагмент Г

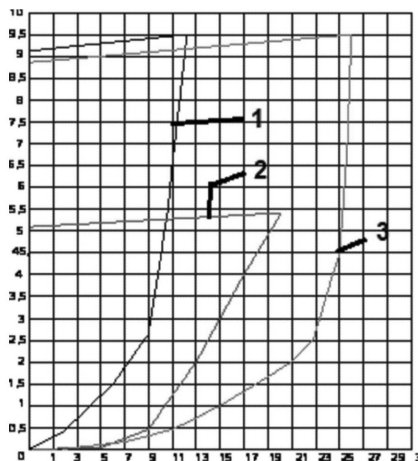
Граница деформирования  
основания



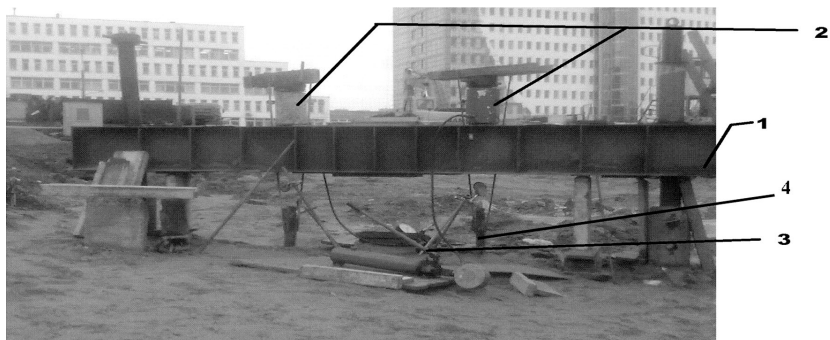
Лопать модели  
сваи ВС диаметром  $D_n$

**Рисунок 4.** Общий вид деформирования песчаного основания модельных свай ВС (опыт 21):  
а – при выдергивающей нагрузке и глубине заложения лопасти  $z \leq 6D_n$ ; б – то же, при  $z > 6(9)D_n$ ;  
в – то же, при вдавливающей нагрузке на модель сваи ВС и  $z > 8D_n$





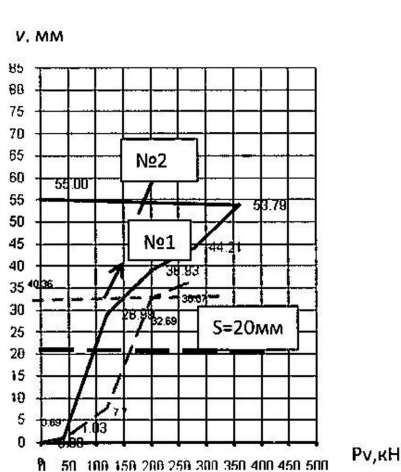
**Рисунок 5.** Пример испытания модельных свай (опыт 21) на выдергивающие нагрузки в песке среднем средней прочности (зависимости выхода сваи из грунта  $\Delta v$  от нагрузки  $P_v$ ,  $\Delta v = f(P_v)$ ):  
 1 – модельная свая ВС1 (ствол  $\varnothing$  1,4 см, лопасть  $\varnothing$  3 см), глубина погружения 15 см;  
 2 – модельная свая ВС2 (ствол  $\varnothing$  1,4 см, лопасть  $\varnothing$  5 см), глубина погружения 15 см;  
 3 – модельная свая ВС3 (ствол  $\varnothing$  1,4 см, лопасть  $\varnothing$  5 см), глубина погружения 30 см



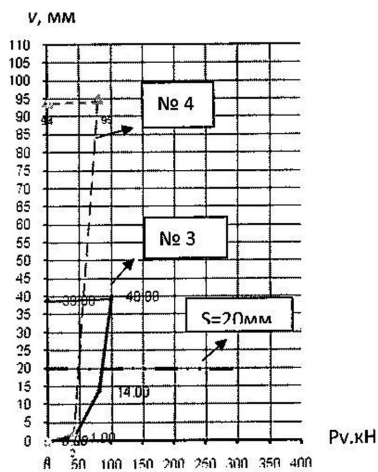
**Рисунок 6.** Общий вид опытной площадки ОП2, испытательной установки и оборудования:  
 1 – упорная балка; 2 – домкрат; 3 – насосная станция с манометром;  
 4 – испытываемая свая ВС

Осадки (s) или выход свай из грунта (v) измерялись при помощи двух прогибомеров системы Аистова (6ПАО). Замеры осадок и выход свай производились относительно неподвижной реперной системы, состоящей из металлических стоек диаметром 50 мм. Испытания свай ВС статическими осевыми вдавливающими и выдергивающими нагрузками проводились до их срыва и выхода из грунта не менее чем на 40 мм. После этого они разгружались с замером упругих деформаций основания. Характеристики грунта основания свай ВС определены по отчету инженерно-геологических изысканий.

Результаты испытаний свай ВС на опытной площадке ОП2 (грунт:  $\gamma = 17 \text{ кН/м}^3$ ;  $\varphi = 26^\circ$ ,  $E = 13 \text{ МПа}$ ) даны на рис. 7–9. Анализ полученных опытных данных показывает: что значения несущей способности мелкозаглубленных металлических свай по результатам испытаний существенно отличаются от их значений, рассчитанным по методикам [6, 10 и др.], которые требуют уточнения.



**Рисунок 7.** Графики зависимости выхода сваи ВС № 1: ( $d_c = 108$ ,  $D_n = 300$ ) № 2: ( $d_c = 87$ ,  $D_n = 250$ ) из грунта v от нагрузки  $P_v$  на ОП2



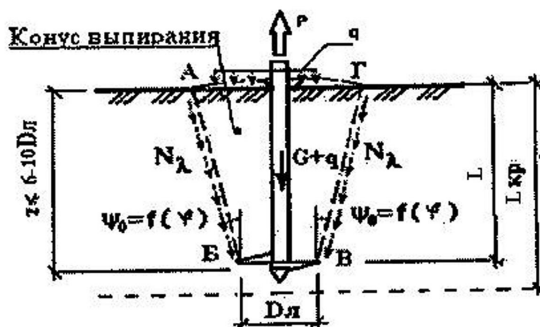
**Рисунок 8.** Графики зависимости выхода сваи ВС № 3: ( $d_c = 78$ ,  $D_n = 250$ ) № 4: ( $d_c = 57$ ,  $D_n = 150$ ) из грунта v от нагрузки  $P_v$  на ОП2

Потеря устойчивости мелкозаглубленных свай ВС происходит за счет образования явно выраженного «конуса выпора» (рис. 9) с поверхностями скольжения, падающими от лопасти свай ВС

вверх к горизонту под углом  $\Psi = f(\varphi)$ ; сдвиг мелкозаглубленных свай ВС происходит по поверхностям скольжения между отделившимся блоком грунта (относительно правильной конусообразной формы) и окружающим его неподвижным грунтом.

грунта  $v$  от нагрузки  $P_v$ .

из грунта  $v$  от нагрузки  $P_v$ .



**Рисунок 9.** Схема потери устойчивости опытных свай ВС 1-4 на площадке ОП2 по результатам испытаний на выдергивание

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы и предложения:

1) проведены работы по изготовлению разработанных свай ВС (рис. 2) и их экспериментальные исследования на трех опытных площадках с целью получения исходных данных для разработки методов расчета и технической документации для массового внедрения свай ВС;

2) экспериментально и по результатам апробации на опытных объектах (рис. 10) подтверждены исходные предпосылки экономической и технической эффективности применения свай ВС в грунтовых условиях Республики Беларусь [2 и др.];

3) результаты исследований положены в основу разработки эффективных методов проектирования и изготовления свай ВС (рекомендаций, регламента), обеспечивающих снижение стоимости фундаментов малонагруженных зданий не менее чем на 30 % [2-5 и др.].



*a*



*б*

**Рисунок 10.** Примеры апробации винтовых свай ВС на экспериментальных объектах:  
а – вышка мобильной связи;  
б – щитовой жилой дом в процессе строительства

#### **Список использованных источников**

1. Кравцов, В.Н. Принципы оптимального проектирования и пути повышения эффективности железобетонных фундаментов в грунтовых условиях Республики Беларусь / В.Н. Кравцов, Н.В. Сорока // Матер. межд. симпозиум: Проблемы современного бетона и железобетона. В 2 т. Т. 1. – Минск : Минсктиппроект, 2011. – С. 206–221.
2. Кравцов, В.Н. Эффективность использования винтовых свай в сложных грунтовых условиях Беларуси / В.Н. Кравцов, Л.С. Чеботарь // Межд. сборник тр. Геотехника: Научные прикладные аспекты строительства надземных и подземных сооружений на сложных грунтах. – СПб: СПб ГАСУ, 2008 – С. 186–191.
3. Кравцов, В.Н. Экспериментальные исследования металлических винтовых свай в грунтовых условиях Республики Беларусь / В.Н. Кравцов, С.С.Х. Аль-Тамими Саиф// Сб. тр. XVIII Международного научно-методического семинара: перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь. – В 2 т. Т. II. – Новополоцк : ПГУ, 2012. – С. 281–286.

4. Кравцов, В.Н. Оценка несущей способности металлических винтовых свай при выдергивании /В.Н. Кравцов, Аль Тамими Саиф // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 75: В 2 кн.: книга 2. – Киев : ДПНДІБК, 2011. – С. 256–264.
5. Кравцов, В.Н. Определение расчетных сопротивлений грунтов R и f для металлических винтовых свай вероятностно-статистическим методом / В.Н. Кравцов, Л.С. Чеботарь // Сб. научн. тр. XXVI международного научно-методического семинара. – в 2 частях. Ч. 2. БрГТУ. – Брест, 2009. – С. 197–202.
6. Железков, В.Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства /В.Н. Железков. – СПб.: Прагма, 2004. – 128 с.
7. Интернет-портал [Электронный ресурс]/ Компания «Фундэкс», история винтовых свай – Москва, 2013. – Режим доступа: <http://www.fundex.su/history/>. – Дата доступа 11.10.2013.
8. П12 к СНБ 5.01.01-99. Контроль степени уплотнения грунтов при возведении земляных сооружений. – Минск: МАиС РБ, 2002. – 62 с.
9. Сеськов, В.Е. Тенденция развития и опыт применения прогрессивных фундаментов в условиях Беларуси /В.Е.Сеськов, В.Н. Кравцов, В.Н. Лях // Строительная наука и техника. – 2007. – № 5(14). – С.131–142.
10. Проектирование и устройство свайных фундаментов. СП 50-102-2003 – Москва: ГУП НИИОСП им. Герсеванова, 2008. – 81с.
11. Методы полевых испытаний сваями. СТБ 2242 Грунты. – Минск: Госстандарт РБ, 2012. – 40 с.
12. Чернюк, В.П. Винтовые сваи и анкеры в строительстве / В.П. Чернюк. – Минск, Ураджай, 1993. – 176 с.

*Статья поступила в редколлегию 17.10.2013*