

## **РАСЧЕТ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВИНТОВЫХ СВАЙ НА ВДАВЛИВАЮЩИЕ И ВЫДЕРГИВАЮЩИЕ НАГРУЗКИ**

Кравцов В.Н.

Научно-исследовательское республиканское унитарное  
предприятие по строительству «Институт БелНИИС»

Аль-Тамими Саиф

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

**АНОТАЦІЯ:** В статті приведена методика розрахунку металевих гвинтових паль на вдавлюючі та висмикуючі навантаження, що розроблена на основі експериментально-теоретичних даних.

**АННОТАЦИЯ:** В статье приведена методика расчета металлических винтовых свай на вдавливающие и выдергивающие нагрузки, разработанная на основе экспериментально-теоретических данных.

**ABSTRACT:** Technique of calculating screw metal piles on impressing and uplift loads developed on experimental and theoretical data is given in this article.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Металлическая винтовая свая, исследования, расчет, несущая способность, нормы.

### **ВВЕДЕНИЕ (СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ, МЕТОДЫ)**

В настоящее время для сооружений, передающих на фундаменты комбинированные (выдергивающие, горизонтальные, моментные) нагрузки, а также для малонагруженных объектов, особенно при наличии сложных грунтовых условий и др., в Республике Беларусь нашли применение металлические винтовые сваи (далее «сваи СВ») [1, 2]. На основании выполненных и анализа существующих исследований [1-6 и др.] установлено, что фундаменты из свай СВ обладают высокой несущей способностью, приемлемой стоимостью, просты в изготовлении, техноло-

гичны и индустриальны. Это позволяет считать данный тип фундаментов прогрессивным и эффективным техническим решением для грунтовых условий Республики Беларусь.

В то же время в национальной нормативно-технической литературе, до проведения исследований, представляемых в настоящей работе, методики определения несущей способности  $F_d$  и деформаций (осадок)  $s$  свай СВ – отсутствовали, а использование документов стран СНГ и Евросоюза (например, методики: В.Н. Железкова [3], СП 50-102-2003 [7], Еврокода 7 [8] и др.) в грунтовых условиях РБ приводит к отклонению рассчитанных по ним значений  $F_d$ , по сравнению с экспериментальными данными, до 25% и выше (при диаметре лопасти сваи СВ  $D_{л}$  до 300 мм) и 70% - (при  $D_{л}>300$  мм), как в сторону занижения, так и завышения [5, 6 и др.]).

Учитывая это, целью исследований, выполненных в рамках программы Минстройархитектуры РБ по энерго-ресурсо-сбережению, и настоящей статьи является совершенствование методов расчета свай СВ, их конструкции и технологии изготовления, обеспечивающих снижение себестоимости свайных фундаментов, по сравнению с забивными и набивными сваями, – не менее, чем на 30%.

Таблица 1

Расчетные сопротивления грунта  $R$  под (над) лопастью одиночных металлических винтовых свай с диаметром ствола  $d_c=219$  мм<sup>\*2</sup>

Глубина заложения лопасти сваи $z$ , м	Коэффициент пористости в уровне лопасти $e$	Расчетные сопротивления грунтов $R$ , кПа, для грунтов								
		гесчаных				глинистых при показателе текучести $I_L$				
		крупных	средней крупности	мелких	пылеватых	0	0,2	0,4	0,6	0,8
2	0,5	4980	2340	1400	800	3990	2340	1200	600	360
	0,7	3840	1800	1140	620	3140	1820	1020	510	250
3	0,5	5100	2460	1520	960	4150	2430	1390	790	410
	0,7	3960	1920	1160	780	3330	2010	1160	630	300
От 4 до 5	0,5	5260	2620	1680	1020	4220	2560	1420	820	420
	0,7	4020	1980	1320	840	3460	2050	1240	700	316
От 6 до 10	0,5	5740	2900	1750	1130	4300	2650	1555	875	435
	0,7	4480	2250	1435	950	3500	2175	1378	756	332

Примечания к таблицам 1 и 2: 1. При промежуточных значениях  $z$ ,  $e$ ,  $I_L$  расчетные сопротивления грунтов  $R$  и  $R_f$  определяют интерполяцией. \* 2. Значения  $R$  и  $R_f$  приведены для периметра ствола сваи  $u = 0,69$  м ( $d_c = 219$  мм). При других периметрах ствола сваи  $u d$  значения  $R$  умножают на коэффициент 0,9 — при диаметре ствола сваи от 100 до 200 мм, и 0,8 — при диаметре менее 100 мм. 3. Значения  $R$  при выдерживающей нагрузке приведены для винтовых свай с относительной глубиной заложения лопасти  $z > 2$ .

Для осуществления поставленной цели решались следующие основные задачи и использовались методы:

1) исследования особенностей работы и НДС оснований свай СВ лабораторными (с использованием маломасштабных моделей и плоского лотка) и полевыми способами [6, 9 и др.];

2) сбор и анализ ранее выполненных экспериментальных материалов: собственных [5, 6 и др.], по отчетным (свыше 100 испытаний) [5] и литературным данным [3 и др.], которые были обработаны вероятностно-статистическим способом с определением расчетных сопротивлений грунта под нижним торцом  $R$  и на боковой поверхности  $R_{\text{н}}$  свай СВ по методике Долматова-Лапшина [5] и составлением таблиц  $R$  и  $R_{\text{н}}$  для песчаных и глинистых грунтов (табл. 1 и 2);

3) вывод формул, описывающих работу мелкозаглубленных свай СВ в грунте при выдергивании, с привлечением математического аппарата и принципов классической механики грунтов [10].

4) разработка метода расчета свай СВ в зависимости от глубины заложения их лопасти от поверхности грунта (см. ниже), который включен в нормы РБ ТКП 45-5.01-254-2012 [11] и рекомендаций по проектированию и устройству свай СВ.

Таблица 2

Расчетные сопротивления грунта  $R_{\text{н}}$  на боковой поверхности одиночных металлических винтовых свай с диаметром ствола  $d_c=219 \text{ мм}^{*2}$

Средняя глубина расположения слоя грунта $l_m, \text{ м}$	Средний коэффициент пористости грунта в слое $e$	Расчетные сопротивления грунтов $R_{\text{н}}$ , кПа, для грунтов							
		песчаных			глинистых при показателе текучести $I_L$				
		крупных, средней крупности	мелких	пылеватых	0	0,2	0,4	0,6	0,8
1	0,5	56	39	32	33	27	22	18	13
	0,7	42	28	21	32	25	20	16	11
От 2 до 3	0,5	60	42	35	48	38	29	22	15
	0,7	46	32	25	46	35	26	19	13
От 4 до 5	0,5	60	44	37	50	39	31	23	16
	0,7	46	33	26	47	36	28	20	14
От 6 до 10	0,5	64	46	39	52	41	33	24	17
	0,7	49	36	27	48	38	30	21	15

Примечания — см. таблицу 1.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВИНТОВЫХ СВАЙ НА ВДАВЛИВАЮЩИЕ И ВЫДЕРГИВАЮЩИЕ НАГРУЗКИ

Несущую способность винтовой металлической сваи  $F_d$ , кН, длиной  $l$  до 10 м с диаметром лопасти  $D_{\text{л}}$  до 1000 мм, погруженной в грунт со

скоростью  $\leq 2$  об/мин на глубину более 2 м на вдавливание следует определять по формуле (1), а на выдергивающие нагрузки несущую способность  $F_{id}$  кН, следует определять в зависимости от критической глубины заложения лопасти  $\lambda$  и вида грунта (рис. 1) по формулам (2) и (3).

Для вдавливаемых свай  $F_{dt} = \gamma_c (\gamma_{cr} \sum RA + U_i \gamma_{cf} \sum h_i R_{fi})$ .

(1)

Для выдергиваемых свай с  $z \leq \lambda$  (рис. 1)

$$F_{id,as} = \gamma_c (\gamma_m G + \gamma_{cf} N_\lambda \cos \beta + \gamma_{mg} G_g) \quad (2)$$

Для выдергиваемых свай с  $z > \lambda$

$$F_{id,as} = \gamma_c (\gamma_{cr} R \cdot 0,785 (D_\lambda^2 - d_c^2) + \gamma_{cf} U_i \sum R_{fi} (z - D_\lambda) + \gamma_{mg} G_g + \gamma_q q) \quad (3)$$

где  $\lambda$  — критическая глубина заложения лопасти металлической винтовой сваи, соответствующая схеме а — мелкого заложения (рис. 1а) при  $\lambda_6 \leq 6D_\lambda$  для глинистых грунтов и  $\lambda_6 \leq 8D_\lambda$  для песков и б — глубокого заложения лопасти (рис. 1б) при  $\lambda_9 > 7D_\lambda$  для глинистых грунтов и  $\lambda_9 > 9D_\lambda$  для песков;

$\gamma_c$  — коэффициент работы сваи, равный  $\gamma_c = 0,7$ ; для влажных песков ( $c \leq 0,5$ ) и глинистых пластичных грунтов ( $c \leq 0,5$ ) —  $\gamma_c = 0,6$ ; то же, для водонасыщенных и текучих ( $c \leq 0,75$ ) —  $\gamma_c = 0,5$ ;

$R, R_{fi}$  — соответственно расчетные сопротивления грунта под торцом и на боковой поверхности свай СВ по таблицам 1 и 2, кПа;

$A, U_i, h_i$  — соответственно, площадь лопасти,  $m^2$ , периметр ствола, м, и толщина слоя грунта вдоль ствола, м, сваи СВ;

$D_\lambda, d_c$  — соответственно диаметр лопасти и ствола сваи СВ, м;

$z$  — глубина заложения лопасти от поверхности грунта, м;

$G, G_g, q$  — соответственно вес сваи СВ, грунта в конусе ее выпирания и полезная нагрузка на поверхности грунта (рис. 1), кН;

$\gamma_m, \gamma_{mg}, \gamma_q$  — соответственно коэффициенты надежности по материалу сваи СВ, грунту в конусе выпирания и полезной нагрузке, равные  $\gamma_m = 0,9$ ;  $\gamma_q = 0,9$ ;  $\gamma_{mg} = 0,7$ ;  $\gamma_q = 0,9$ ;

$\gamma_{cf}, \gamma_{cr}$  — коэффициенты условий работы грунта, равные: для лопасти  $\gamma_{cr} = 0,8$  (при вдаливании) и 0,7 (при выдергивании); для боковой поверхности  $\gamma_{cf} = 0,6$ ;

$N_\lambda$  — сила сопротивления отрыву конуса выпирания от грунта основания сваи, кН (рис. 1), определяемая по формуле:

$$N_\lambda = 4R_\lambda \cdot (D_\lambda + z \operatorname{tg} \beta) \quad (4)$$

здесь  $R_\lambda$  — сила сопротивления отрыву конуса выпора от природного грунта на единицу длины плоскости сдвига, кН:

$$R_\lambda = (cz \cos \varphi) / (\cos^2 \varphi / 2) + \gamma_c q \quad (5)$$

где  $c, \varphi$  — сцепление, кПа и угол внутреннего трения, град;

$\beta$  – угол наклона образующей конуса выпирания по рис 1а, равный для грунтов: прочных (сопротивление вдавливанию конуса зонда  $q_s \geq 6$  МПа) углу внутреннего трения –  $\beta = \varphi$ , град; для средней прочности ( $q_s \geq 1,2$  МПа) –  $\beta = 0,7 \dots 0,9 \varphi$  (меньшее значение для водонасыщенных грунтов); для малопрочных ( $q_s < 1,0$  МПа) –  $\beta = 0,3 \dots 0,6 \varphi$  (меньшее значение для водонасыщенных и заторфованных грунтов с  $I_{om} \geq 0,1$ );

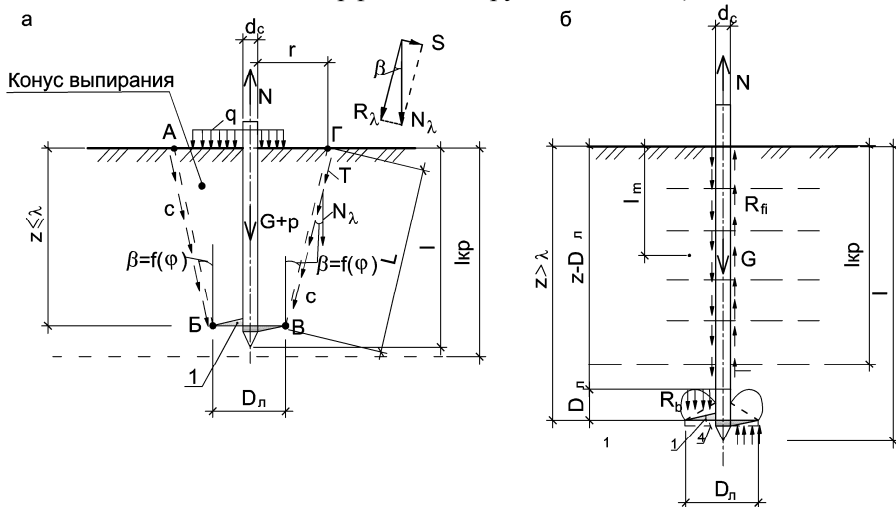


Рис. 1. Расчетные схемы винтовой сваи при выдергивающей нагрузке в зависимости от относительной глубины заложения лопасти  $\lambda$ : а — при глубине заложения лопасти  $z < \lambda$  (до критической глубины); б — то же, при  $z > \lambda$  (ниже критической глубины) (где  $\lambda$  см. обозначения к формулам 1-3)

## ВЫВОДЫ

1. По результатам ранее выполненных исследований [1, 5, 6, 9, 10 и др.] уточнен характер работы металлических винтовых свай в грунтовых условиях Беларуси и усовершенствованы методы их расчета [5, 10], которые вошли в нормы РБ: ТКП 45-5.01-254-2011 «Основания и фундаменты. Нормы проектирования» [11]. Отклонения значений несущей способности, найденных по предлагаемым методам, от их фактических величин не превышают 15%, что позволяет снизить себестоимость свайных фундаментов из свай СВ по сравнению с забивными и набивными сваями до 10...30% (последнее в сложных грунтовых условиях).

2. Полученные результаты исследований и разработанная на их основе нормативно-техническая база по проектированию, изготовлению и

устройству свай СВ, послужат основой для их широкого внедрения на территории Республики Беларусь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кравцов В.Н. Эффективность использования винтовых свай в сложных грунтовых условиях Беларуси / В.Н. Кравцов, Л.С. Чеботарь // Геотехника: межвуз. сб. трудов. – СПб: СПбГАСУ, 2008. - С. 186 - 191.
2. Чернюк В.П. Винтовые сваи и анкеры в строительстве / В.П. Чернюк. - Минск: Ураджай, 1993. – 176 с.
3. Железков В.Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства / В.Н. Железков. – СПб.: Прагма, 2004. – 128 с.
4. Richard Schmidt. Screw piles / Richard Schmid, P.Eng. and Mamdouh Nasr, M. Eng. //structure magazine [Electronic recourse]. - June, 2004. - Mode of access: <http://www.structuremag.org/OldArchi/2004> - Date of access: 05.05.2009г.
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. – Брест: БрГТУ, 2009. - Ч.2. – С.197-202.
6. Кравцов В.Н. Экспериментальные исследования металлических винтовых свай в грунтовых условиях Республики Беларусь / В.Н. Кравцов, Аль-Тамими Саиф // Тр. XVIII международного научно-методического семинара – в двух томах: том II. - Новополоцк: ПГУ, 2012. - С. 281-286.
7. Проектирование и устройство свайных фундаментов: СП 50-102-2003. – М.: ГУП НИИОСП им. Герсеванова, 2008. – 81 с.
8. ТКП EN 1997-1-2009. Еврокод 7 геотехническое проектирование Часть 1. Общие правила. - Минск: МАиС РБ, 2009. – 129 с.
9. Кравцов В.Н. Экспериментальные исследования свай лабораторными методами / В.Н. Кравцов, Аль Тамими Саиф // Актуальные проблемы геотехники, экологии и защиты населения: тезисы 68 науч. техн. конф. – Минск: БНТУ, 2012. – С. 81 – 84.
10. Кравцов В.Н. Оценка несущей способности металлических винтовых свай при выдергивании / В.Н. Кравцов, Аль Тамими Саиф // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК. – Вип. 75: В 2-х кн.: книга 2, 2011.– С. 256-264.
11. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.01-254-2012 / Минстрой-архитектуры РБ. - Минск: РУП «Стройтехнорм», 2012. - 164 с.

Статья поступила в редакцию 09.09.2013 г.