

Проведенный нами сравнительный анализ, позволяет наметить дальнейший путь уточнения методов определения несущей способности свай и, в частности, оценки значений расчетного сопротивления свай по боковой поверхности.

Заключение

1. Выполненный анализ определения несущей способности забивных свай в различных грунтовых условиях показывает на наличие некоторых особенностей работы свай в верхней зоне глубиной до 2,0 м, а также зоны уплотнения вокруг ствола сваи, учет которых необходим при уточнении методов расчета.

2. Существующие подходы, рекомендуемые в нормативной отечественной и зарубежной литературе, в определении расчетного сопротивления грунта по боковой поверхности сваи не учитывают плотность и прочность грунтов, а также изменений состояния грунтового массива, которые имеют место после погружения сваи.

3. Хотя предложенные подходы в определении f , являются более достоверными чем существующие, так как они учитывают изменение деформационно-прочностных характеристик грунтов после забивки свай, однако требуются дальнейшие исследования совместной работы свай и грунтовых массивов.

Список цитированных источников

1. Проектирование забивных свай: пособие П4-2000 к СНБ 5.01.01-99 / В.Е. Сеськов [и др.] // Минархстрой РБ. – Минск, 2001. – 68 с.
2. Строительство объектов агропромышленного комплекса. Сер. Строит. материалы и конструкции, здания и сооружения. – 1989. – Вып. 3: Расчет коротких свай на осевые вдавливающие нагрузки. Обзор. информ. – ЦНИИЭПсельстрой. – 72 с.
3. СНиП 2.01.03-85. Свайные фундаменты / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
4. Stamm J. Die Mantelreibung von Pfählen ein Bruchvorgang. – Geotechnik, Jahrgang 11. – 1988. – № 2. – P. 98–126.
5. Zhang J., Li V. Influence of Supporting Base Characteristics on Shrinkage-Inductd Stresses in Concrete Pavements // Journal of Transportation Engineering. – 2001. – vol. 127. – P. 55-61.
6. Основания, фундаменты и подземные сооружения: справочник проектировщика / Под ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
7. Лапшин, Ф.К. Расчет свай по предельным состояниям. – Изд-во Саратов. ун-та, 1979. – 152 с.
8. Пойта, П.С. Оценка методов определения несущей способности забивных свай / П.С. Пойта, П.В. Шведловский // Вестник БрГТУ. – 2009. – № 1(55): Строительство и архитектура. – С. 30–32.

УДК 624.155.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ГРУНТОВ R И F ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ВИНТОВОЙ СВАИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Кравцов В.Н., Чеботарь Л.С.

Введение. В настоящее время для сооружений со значительными комбинированными (выдергивающими, горизонтальными, моментными) нагрузками в Республике Беларусь нашли применение металлические винтовые сваи (далее ВС) [1]. Широкое их внедрение сдерживается отсутствием нормативно-технической базы по проектированию (расчету) в грунтовых условиях Беларуси. Установлено, что отклонение расчетных значений несущей способности винтовых свай от их фактических величин достигает 50% и более, как правило, в сторону занижения.

В связи с этим РУП «Институт БелНИИС» выполнил ряд исследований по изучению особенностей работы винтовых свай в зависимости от их размеров, характера загрузки и условий изготовления, с целью последнего совершенствования конструкции винтовых свай и методов их проектирования. В частности проводится 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 вероятностно-статистического метода их оценки.

1. **Определение расчетных сопротивлений грунта винтовых свай.** В сложившейся нормативной практике Республики Беларусь принят метод расчета несущей способности свай, работающих на осевые вдавливающие и выдергивающие нагрузки, как суммарной несущей способности их основания под нижним концом и на боковой поверхности, определяемой по формуле (5.8) [2] с использованием табличных значений расчетных сопротивлений грунта R , f соответственно в уровне торца и на боковой поверхности свай (таблицы 6.1, 6.2 [3]).

Однако использование указанных таблиц для расчета винтовых свай приводит к существенным погрешностям по сравнению с результатами, полученными из опыта.

Для составления таблиц нормативных значений R_n и f_n для свай ВС, приведенных в [1] (диаметр ствола 219 мм, лопасти 500, 850 мм, длина ствола до 12 м), было собрано свыше 100 их испытаний как на вдавливающие, так и на выдергивающие статические нагрузки, в виде графиков «нагрузка-осадка» («выход-перемещение») $s = f(P)$, выполненных на территории Республики Беларусь.

При составлении таблиц R и f были использованы экспериментальные материалы организаций: ООО «Промстальконструкция», ОАО «Стройкомплекс», результаты опытных исследований РУП «Институт БелНИИС» и данные литературных источников.

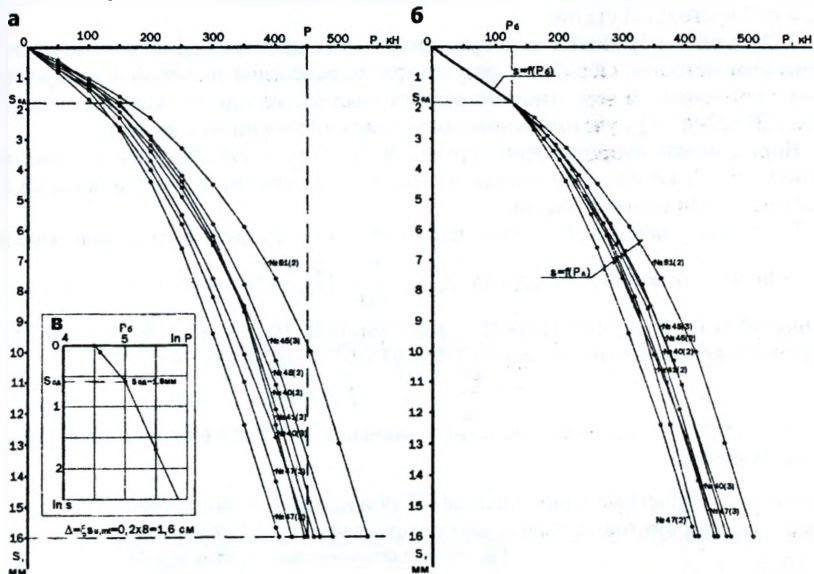
Разделение суммарной величины усилия P , воспринимаемого винтовой свай, на ее составляющие (усилия, воспринимаемые боковой поверхностью P_b и лопастью P_n) произведено по методике, предложенной Далматовым-Лапшиным [4], которая базируется на положении о величине «сдвиговой осадки» $s_{сд}$, соответствующей моменту исчерпания сил трения на боковой поверхности ствола сваи (несущей способности P_b), различной для каждого вида грунта.

В процессе предварительного анализа из рассмотрения были исключены испытания, выполненные с нарушением требований ГОСТ 5686-94 [5]. Экспериментальные графики $s = f(P)$ были объединены в группы в зависимости от вида грунта, находящегося в уровне лопасти свай ВС, ее геометрических характеристик (500 мм, 850 мм) и глубины погружения (от 2 до 10 м). Испытания свай, у которых под лопастью (торцом) мощность слоя грунта составляла менее 1 м, не рассматривались. Исключались также результаты недостаточно заглубленных свай, или для которых отсутствовали полные инженерно-геологические данные. Для каждой группы графиков по методике [4] была найдена сдвиговая осадка $s_{сд}$, полученная при построении графиков $s = f(P)$, рассматриваемой группы кривых в логарифмическом масштабе. По определенному значению $s_{сд}$ на графиках выделялись участки кривых, характеризующих работу грунта на боковой поверхности и под лопастью. Группа кривых для лопасти сводилась в одной точке, соответствующей осадке сваи $s = s_{сд}$.

Несущая способность боковой поверхности рассматриваемых групп свай ВС назначалась при сдвиговой осадке $s = s_{сд}$, равной наибольшей из сдвиговых оса-

док для слоев грунта, прорезаемых свай. Здесь величина $s_{сд}$ – максимальная осадка грунта вдоль ствола до его среза, после которой силы трения не растут (практически постоянны). После этого начинается перемещение свай относительно грунта и включается в работу ее лопасть (торец).

Анализ результатов испытаний свай на выдергивающие нагрузки и с раздельным определением несущей способности на боковой поверхности и под острием (тензометрически), выполненных ранее в РУП «Институт БелНИИС» (ИСИА) [6] и др., показал, что сдвиговая осадка для грунтов белорусского региона составляет: 0,1–0,5 см для песков и 0,6–2,0 см для глинистых грунтов. Таким образом, зная сдвиговую осадку грунтов основания, можно из общего графика $s = f(P)$ вычленив долю нагрузки, приходящуюся на боковую поверхность свай при осадке $s_{сд}$. Для этого общий график $s = f(P)$ разбивается на два параболических участка – начальный, соответствующей осадке $s_{сд}$, и конечный для лопасти (рисунок 1а, 1б). Конечный участок соответствует работе лопасти (торца), которая проявляется в полной мере после исчерпания сил трения (несущей способности) боковой поверхности ствола свай при осадке $s_{сд}$. Для выделения на общих графиках $s = f(P)$ указанных участков они перестраиваются в логарифмической шкале (рисунок 1в). Это позволяет преобразовать параболическую кривую в два прямых отрезка, координаты точки пересечения которых и определяют сдвиговую осадку $s_{сд}$ и нагрузку, приходящуюся на боковую поверхность свай P_6 (рисунок 1б). Тогда доля нагрузки на лопасть получается вычитанием P_6 из общей нагрузки P , воспринимаемой свай.



а – группа экспериментальных графиков зависимости «нагрузка-осадка» $s = f(P)$ винтовых свай № 45-51 длиной 4-5 м для мелкого песка; б – расчленение графиков $s = f(P)$ на составляющие $s = f(P_6)$ и $s = f(P_a)$; в – график зависимости осадки свай от нагрузки в логарифмической шкале $\ln s = f(\ln P)$.

Рисунок 1 – Пример разделения общей несущей способности винтовых свай P на ее составляющие P_6 и P_a по результатам испытаний

Для неоднородных слоистых оснований $s_{сд}$ принималась в запас прочности для слоя с большим значением $s_{сд}$ (см. рис. 1,б).

На рисунке 1 дан пример расчленения общих графиков испытания свай ВС осевой вдавливающей нагрузкой $s = f(P)$ на графики боковой поверхности $s = f(P_6)$ и лопасти $s = f(P_n)$. В группе собраны сваи ВС погруженные на глубину 4-5 м в однородные мелкие пески. Восемь графиков свай ВС № 41-51 построены в логарифмическом масштабе, с выделением на пересечении прямых начального (верхнего) участка, соответствующего сдвиговой осадке $s_{сд} = 1-2$ мм и нагрузке P_6 , воспринимаемой боковой поверхностью свай ВС. Нижние участки кривых $s = f(P)$, соответствующие нагрузке P_n , приходящиеся на лопасть, собраны в пучок (см. рис. 1,б) в одной общей точке с координатами $(s_{сд}, P_6)$. Аналогичным образом значения P_6 и P_n определялись и для выдергивающих нагрузок на сваи ВС. При этом общая нагрузка, воспринимаемая свай, назначалась исходя из условий:

- если количество испытаний в группе менее трех, то значение P принималось равным наименьшему из предельных сопротивлений этой группы, определенных при осадке $\Delta = \xi s_{д,мт} = 16$ мм, испытанных на вдавливающую нагрузку, или $u = 10$ мм для выдергивающей нагрузки, (где $s_{д,мт} = 8$ см – значение допустимой осадки по СНБ 5.01.01, приложение Б [2]; $\xi = 0,2$ – коэффициент перехода к осадке свай);

- если количество испытаний определенной группы было более трех штук, то значение P определялось на основании результатов статистической обработки частных значений предельных сопротивлений оснований по ГОСТ 20522-96 [7] и п. 2 настоящей статьи.

2. Анализ и обработка экспериментальных данных вероятностно-статистическим методом. Обработка результатов определения значений R и f произведена с применением вероятностно-статистического метода, регламентированного ГОСТ 20522-96 [7] с учетом основных положений теории надежности.

Нормативные сопротивления грунта R_n и f_n находились делением частных величин P_n , P_6 на площади поперечного сечения лопасти и участка боковой поверхности сваи соответственно.

Расчетные значения R и f получены делением нормативного значения на коэффициент надежности по грунту $\gamma_g = \frac{1}{1 \pm \rho_\alpha}$ [7], установленного с учетом изменчивости и числа определений характеристики (числа испытаний) при доверительной вероятности, согласно СНБ 5.01.01 [2], равной $\alpha = 0,95$.

$$R = \frac{P_n}{\gamma_g}; \quad f = \frac{P_6}{\gamma_g}.$$

Результаты определения расчетных значений R и f для винтовых свай приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Расчетные сопротивления R под/над лопастью одиночных коротких металлических винтовых свай с диаметром ствола $d_c = 219$ мм

Глубина погружения сваи l , м	Коэффициент пористости, e	Расчетные сопротивления грунтов R , кПа								
		песчаных				глинистых, при показателе текучести I_L , равном:				
		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

Продолжение таблицы 1

3	0,5	5100	2460	1520	960	4150	2430	1390	790	410
	0,7	3960	1920	1160	780	3330	2010	1160	630	300
4-5	0,5	5260	2620	1680	1020	4220	2560	1420	820	420
	0,7	4020	1980	1320	840	3460	2050	1240	700	316
6-10	0,5	5740	2900	1750	1130	4300	2650	1555	875	435
	0,7	4480	2250	1435	950	3500	2175	1378	756	332

Примечания. 1. При промежуточных значениях l_m , e , l_L расчетные сопротивления грунтов R и f определяются интерполяцией;

2. Значения R и f в таблицах 1 и 2 даны для периметра ствола свай $u = 0,69$ м. При других периметрах ствола свай значения R и f определяются умножением на отношение u/u_0 ;

3. Значения R и f при выдергивающей нагрузке в таблицах 1 и 2 даны для свай ВС с относительной глубиной заложения лопасти $\lambda = l/D_n$ (1, D_n - соответственно глубина заложения лопасти и ее диаметр).

Таблица 2 – Расчетные сопротивления грунтов f на боковой поверхности коротких металлических винтовых свай с диаметром ствола $d_c = 219$ мм

Средняя глубина расположения слоя грунта l_m , м	Средний коэффициент пористости грунта в слое, e	Расчетные сопротивления грунтов f , кПа							
		песчаных			глинистых, при показателе текучести I_L , равном:				
		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
2-3	0,5	60	42	35	48	38	29	22	15
	0,7	46	32	25	46	35	26	19	13
4-5	0,5	60	44	37	50	39	31	23	16
	0,7	46	33	26	47	36	28	20	14
6-10	0,5	64	46	39	52	41	33	24	17
	0,7	49	36	27	48	38	30	21	15

Примечания. см. таблицу 1.

Заключение

1. Существующие методы расчета винтовых свай дают отклонения от фактических данных до 50% и требуют корректировки.

2. Полученные расчетные значения R и f для грунтов Республики Беларусь (см. таблицы 1 и 2) позволяют значительно повысить точность расчетов и эффективность винтовых свай. Дальнейшее накопление данных испытаний свай ВС даст возможность разработать более точные методы их проектирования и расчета несущей способности.

Список цитированных источников

1. Кравцов, В.Н. Эффективность использования винтовых свай в сложных грунтовых условиях Беларуси / В.Н. Кравцов, Л.С. Чеботарь // Геотехника: научные и прикладные аспекты строительства надземных и подземных сооружений на сложных грунтах: межвузовский тематический сборник трудов / СПбГАСУ; редкол. Р.А. Мангушев [и др.]. – СПб., 2008. – С. 186–191.

2. СНБ 5.01.01-99 Основания и фундаменты зданий и сооружений. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 1999. – 36 с.

3. Пособие П4-2000 к СНБ 5.01.01-99 Проектирование забивных свай. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2001. – 68 с.

4. Далматов, Б.И., Лапшин, Ф.К. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов. – Л.: Стройиздат, 1975. – С. 25–38.

5. Методы полевых испытаний сваями: ГОСТ 5686-94. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 1995. – 36 с.

6. Кравцов, В.Н. Экспериментальное исследование несущей способности забивных свай в намыльном грунте / В.Н. Кравцов, Г.В. Уткина, В.Ф. Давылов // Основания и фундаменты: сборник научных трудов. – Минск: ИСИА Госстроя БССР, 1981. – С. 34-41.

7. Методы статистической обработки результатов испытаний: ГОСТ 20522-96. – М.: Минстрой РФ, 1996. – 14 с.

УДК 624.15:692.115+624.012.3

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТВОЛА БУРОНАБИВНОЙ СВАИ ИЗГОТОВЛЕННОЙ ИЗ БЕТОНА НА НАПРЯГАЮЩЕМ ЦЕМЕНТЕ В ПЕСЧАНЫХ ГРУНТАХ

Невейков А.Н., Пойта П.С., Шведовский П.В.

Введение. В современных условиях фундаментостроения наиболее перспективными являются буронабивные свайные фундаменты. Хотя такие сваи и имеют несколько меньшую несущую способность (на 1 м³ бетона), чем забивные сваи, но высокие темпы их устройства и др. преимущества обеспечивают значимый экономический эффект [1, 2].

Как показывают результаты испытаний буронабивных свай в различных грунтовых условиях, их несущая способность в значительной степени определяется долей нагрузки, воспринимаемой боковой поверхностью. Следовательно, обеспечение плотного контакта сваи с грунтом по всей длине является определяющим для повышения несущей способности сваи.

Одним из способов обеспечения плотного контакта является применение бетонов на основе напрягающего цемента (НЦ), расширяющихся в процессе схватывания, что соответственно обеспечивает как благоприятные условия работы сваи, так и создает преднапряжение грунта не только по боковой поверхности, но и под пятой сваи.

Незначительный объем применения бетона на НЦ в фундаментостроении объясняется технологическими трудностями, связанными с получением такого бетона и несовершенными методами расчета. Вместе с тем, очевидно, что проблема проектирования свайных фундаментов из бетонов на НЦ не может быть сведена только лишь к подбору приемлемого состава бетона. Не менее существенное значение имеет напряженно-деформированное состояние как самой сваи, так и грунта, окружающего ее в процессе изготовления, твердения бетона и работы под нагрузкой.

Взаимодействие боковой поверхности буронабивной сваи и грунта. Наиболее распространенной нагрузкой, действующей на сваи, является вертикальная статическая нагрузка, которая передается и распределяется на окружающий сваю грунтовый массив через боковые грани и острие. Значение несущей способности (F_d) определяется как сумма нагрузок, воспринимаемых пятой (F_{dv}) и боковой поверхностью (F_{db}):

$$F_d = F_{dv} + F_{db} \quad (1)$$

На работу буронабивной сваи под нагрузкой оказывает влияние большое количество факторов – начиная от способа устройства сваи и заканчивая величиной прикладываемой к свае нагрузки, величина которой в значительной степени определяется долей нагрузки, воспринимаемой боковой поверхностью.