

DOI: 10.12737/article_5abfc9b8b80fd1.89721982

¹Рыбникова И.А., ст. препод.,²Рыбников А.М., канд. техн. наук, доц., ст. научн. сотр.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
(Новороссийский филиал)²Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова (г. Новороссийск)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ БУРОНАБИВНЫХ КОНИЧЕСКИХ СВАЙ НА ДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ НАГРУЗОК

a.ribnikov@novoroskhp.ru.

Одним из способов повышения несущей способности буронабивных свай является придание им конусности. Особенность работы таких свай (клиновидных) состоит в том, что под нагрузкой они работают «в распор» и передают часть нагрузки за счёт нормальной составляющей по наклонной боковой поверхности. Испытывались три типоразмера буронабивных конических свай длиной 4,5 м, диаметром головы 0,4; 0,5; 0,6 м с углом конусности 1° – $2,5^\circ$. Результаты испытаний сравнивались с результатами испытаний цилиндрических буронабивных свай длиной 4,5 м диаметром головы 0,4 м и 0,6 м. Выявлено, что с увеличением угла конусности несущая способность свай на вдавливающую нагрузку, особенно удельная несущая способность на 1 м^3 материала по сравнению с цилиндрическими сваями, существенно возрастает. Определено, что несущая способность на горизонтальную нагрузку тем выше, чем больше диаметр головы сваи, а на выдёргивающую нагрузку равно усилию отрыва сваи из грунта.

Ключевые слова: буронабивная свая, конусность сваи, буровой став, статические испытания, несущая способность.

Введение. Буронабивные сваи, в отличие от забивных, изготавливают непосредственно на строительной площадке в пробуренных скважинах в грунте ненарушенной структуры. Такие сваи выгодно применять в стеснённых условиях строительства в связных неводонасыщенных грунтах. Однако известно, что прочность материала ствола цилиндрических буронабивных свай используется лишь на 25–45 %. Одним из путей повышения несущей способности буронабивных свай является придание им конической формы, по типу пирамидальных забивных свай или конусных набивных свай в пробитых скважинах. Особенность работы свай, сужающихся к острию (пирамидальных, клиновидных), состоит в том, что под нагрузкой они работают «в распор», подобно объёмному клину, и передают часть нагрузки за счёт нормальной составляющей по наклонной боковой поверхности. На основе этого явления и была предложена конструкция буронабивной конической сваи, сочетающая в себе основные преимущества забивных клиновидных и буронабивных свай [1]. Результаты модельных испытаний таких свай показали их эффективность и предопределили проведение их натурных полевых испытаний.

Диаметр голов натурных буронабивных конических свай был принят по типу модельных свай $d_1 = 0,4; 0,5; 0,6$ м. Для удобоукладываемости бетонной смеси и последующего её уплотнения в

суженной нижней части скважины (острия) минимальный диаметр торца был принят $d_0 = 0,2$ м. При длине сваи 4,5 м и принятых диаметрах голов и торца (острия) конусность свай составила 1 – $2,5^\circ$. Для получения сравнительных данных испытывались также две цилиндрические сваи диаметром 0,4 и 0,6 м длиной также 4,5 м (рис. 1). Обозначения свай приняты по их наименованию – БКС (буронабивные конические сваи) и БЦС (буронабивные цилиндрические сваи), размеры свай на рис. 1 даны в сантиметрах. Все опытные сваи изготавливались из бетона класса В20 и армировались четырьмя стержнями арматуры диаметром 20 мм марки А-III (А-400).

Методология. Известно, что достоверными являются результаты испытаний натурных конструкций свай в грунтах природного сложения. В настоящей работе приводятся результаты полевых испытаний буронабивных конических свай на действие вертикальной вдавливающей, горизонтальной и выдёргивающей нагрузок по ГОСТ 5686–2012 [2] на экспериментальном полигоне. Для бурения конических скважин были спроектированы и изготовлены буровые ставы трёх типоразмеров. Они состояли из шнека, соединённого со сменным породоразрушающим наконечником-резцом пальцем. Для повышения эффективности транспортирования разрабатываемого грунта на поверхность лопасти шнека установлены с различным шагом. Торцы лопастей и

низ реза снабжены твёрдосплавными пластинами (рис. 2). Конические ставы, так же, как и обычные цилиндрические ставы диаметром 0,4 м и 0,6 м, использовались как сменное оборудование к бурильным установкам типа БУК-600, СО-2, УБС-1 (рис. 3).

На опытном полигоне была отработана технология изготовления буронабивных конических

свай. Работы по их изготовлению выполнялись звеном из четырёх человек: машиниста бурильной установки, крановщика и двух бетонщиков. Время цикла на изготовление одной сваи с учётом конкретных производственных условий – 24–30 мин.

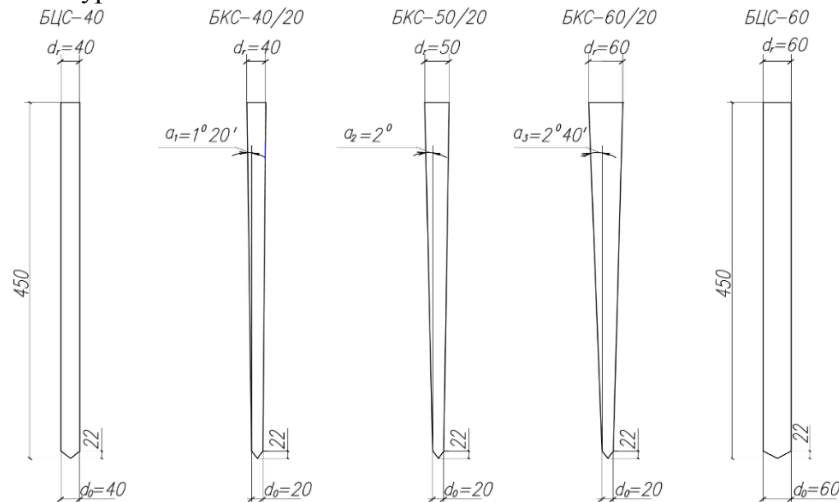


Рис. 1. Типоразмеры опытных буронабивных конических и цилиндрических свай

Для испытаний статической вдавливающей нагрузкой применялся гидравлический домкрат ДГО-200 грузоподъёмной силой 200 т, упором для которого служил специальный анкерный стенд, состоящий из главной 6-ти метровой стальной балки и двух вспомогательных балочек. Реактивные усилия воспринимались четырьмя анкерными цилиндрическими сваями диаметром

0,6 м. Горизонтальная нагрузка одновременно на две буронабивные конические сваи создавалась домкратом ДГ-50 через головы свай попарно, расположенным между ними (рис. 4). При испытании буронабивных конических свай выдёргивающей нагрузкой использовалась главная балка анкерного стенда, опёртая на фундаментные бетонные блоки.



Рис. 2. Ставы (шнеки) буровые конические



Рис. 3. Бурильная установка БУК-600 с буровым коническим ставом (шнеком)

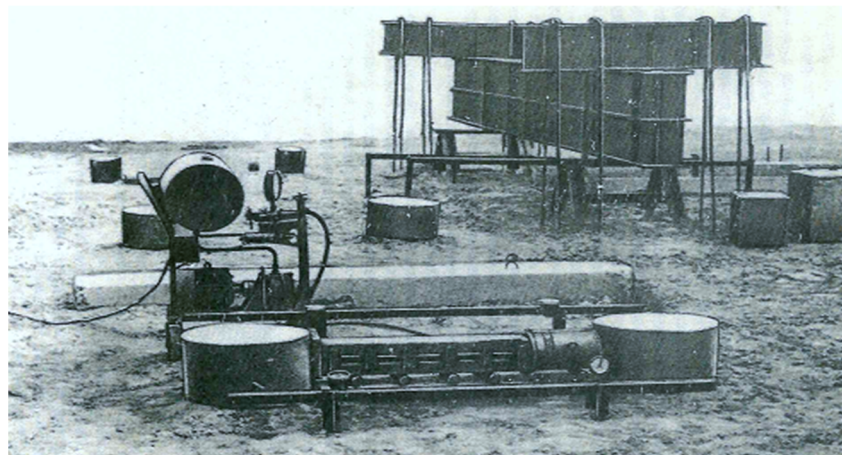


Рис. 4. Экспериментальный полигон по испытанию свай разными видами нагрузок

По результатам испытаний строились графики зависимости «нагрузка-осадка», «нагрузка-горизонтальное перемещение», «нагрузка-выход из грунта», и по ним определялась несущая способность свай согласно СП 22.13330.2011 [3] и СП 22.13330.2011 [4].

Основная часть. Всего на экспериментальном полигоне в г. Павлодаре, сложенном твёрдой супесью с объёмной массой $\rho = 1,82 \text{ т/м}^3$, углом внутреннего трения $\varphi = 22^\circ$ и модулем деформации $E = 18 \text{ МПа}$, было испытано 17 буронабивных конических свай (БКС) и цилиндрических (БЦС) свай с диаметром голов 0,6; 0,5; 0,4 м следующими видами нагрузок: вдавливающей нагрузкой – 7 шт., горизонтальной – 6 шт. (парно), выдёргивающей – 4 шт. За эталонную была принята цилиндрическая свая диаметром 0,4 м (БЦС-40), так как её объём сопоставим с объёмами конических свай.

Результаты испытаний свай приведены в табл. 1. Они показали, что несущая способность буронабивных конических свай на вдавливающую нагрузку F в указанных грунтовых условиях в 1,2...1,4 раза больше, чем цилиндрических. Это можно объяснить дополнительным отпором грунта по боковой поверхности при нагрузке, то есть так называемым клиновым эффектом. С увеличением угла конусности α (рис. 1) повышается несущая способность свай, и одновременно увеличивается расход материала на их изготовление. При этом удельная несущая способность конических свай (F/V) при осадке на 20 мм составила от 519 кН/м^3 до 981 кН/м^3 , цилиндрическая диаметром 0,6 м – 493 кН/м^3 , цилиндрическая диаметром 0,4 м – 735 кН/м^3 .

Анализ результатов испытаний свай позволил сравнить зависимости, а также технико-экономически обосновать расход материала свай по коэффициенту эффективности использования материала свай K_3 равному отношению удельных несущих способностей исследуемых свай к удельной несущей способности эталонной. Так

как за эталонную была принята цилиндрическая свая диаметром 40 см – БЦС-40, то показатели K_3 для разных свай вычислялись по формуле $F/V:(F/V)_{\text{БЦС-40}}$. Дополнительно вычислялся коэффициент применения свай $K_п$, определяемый как отношение несущих способностей исследуемых свай к несущей способности эталонной сваи $(F/F_{\text{БЦС-40}})$. Численные показатели обоих коэффициентов с увеличением угла конусности свай имели нарастающий характер.

Анализ данных табл. 1 показал, что зависимость несущей способности конических свай на разные виды нагрузок от их угла конусности α близка к прямо пропорциональной (рис. 5).

Оптимальный угол конусности $\alpha = 2,32'$ найден графически на пересечении кривых зависимости коэффициентов $K_п$ и K_3 (рис. 6). При длине сваи равной 4,5 м и диаметре нижнего торца 0,2 м эффективной конструкцией теоретически в исследованных пределах оказалась свая с диаметром головы 0,56 м.

Величина несущей способности свай при действии горизонтальной нагрузки $F_{\text{гор}}$ определялась при перемещении головы сваи на $\Delta = 10 \text{ мм}$. Анализ полученных данных из табл.1 показал, что сопротивление свай горизонтальной нагрузке зависит от диаметра ствола сваи в верхней части и будет тем выше, чем больше его диаметр. Конические сваи БКС-40/20 и цилиндрические БЦС-40 имеют одинаковый диаметр головы, но у них выявлена разная несущая способность – в среднем 21 и 36 кН соответственно. Это объясняется утоньшением ствола конических свай к острию. У свай БКС-60/20 несущая способность значительно выше и составляет в среднем 73 кН , поскольку диаметр головы у них 0,6 м, а диаметр ствола равным 0,4 м (как у эталонной сваи) достигается на глубине более 2 м.

В процессе испытаний свай горизонтальной нагрузкой были выполнены наблюдения за деформациями грунта, вызванными смещениями свай. При начальных ступенях нагрузки, когда

головы свай переместились на 8–10 мм, на поверхности грунта возле свай появлялись еле заметные радиальные трещины. С дальнейшим перемещением голов свай от нагрузок трещины увеличивались. Их длина достигала 30–40 см, ширина – до 3 см, максимальная глубина – 15 см. Между сваем и грунтом в месте приложения

нагрузки образовывалась серповидная щель, которая увеличивалась по мере роста ступеней нагрузок. Обрушения грунта в щель на протяжении всего испытания не наблюдалось. Таким образом, выявлены при таком виде нагружения свай три фазы деформации оснований: уплотнения, локальных сдвигов и фаза развития значительных сдвигов.

Таблица 1

Результаты натурных испытаний буронабивных конических свай

Марка свай	Угол конусности α , град	Объём свай V , м ³	Площадь боковой поверхности свай, м ²	Несущая способность, кН			$\frac{F}{V}$ кН/м ³	$K_{п}$	$K_{э}$
				F	$F_{гор}$	$F_{выд}$			
Вдавливающая нагрузка									
БЦС-40	-	0,547	5,38	402	-	-	735	1	1
БКС-40/20-1	1°20'	0,316	4,03	164	-	-	519	0,408	0,706
БКС-40/20-2	1°20'	0,316	4,03	201	-	-	636	0,500	0,865
БКС-50/20	2°	0,439	4,71	380	-	-	866	0,945	1,178
БКС-60/20-1	2°40'	0,585	5,38	565	-	-	966	1,405	1,314
БКС-60/20-2	2°40'	0,585	5,38	574	-	-	981	1,428	1,335
БЦС-60	-	1,230	8,06	606	-	-	493	1,507	0,671
Горизонтальная нагрузка									
БЦС-40-1	-	0,547	5,38	-	39	-	-	-	-
БЦС-40-2	-	0,547	5,38	-	33	-	-	-	-
БКС-40/20-1	1°20'	0,316	4,03	-	20	-	-	-	-
БКС-40/20-2	1°20'	0,316	4,03	-	23	-	-	-	-
БКС-60/20-1	2°40'	0,585	5,38	-	67	-	-	-	-
БКС-60/20-2	2°40'	0,585	5,38	-	78	-	-	-	-
Выдёргивающая нагрузка									
БЦС-40	-	0,547	5,38	-	-	120	-	-	-
БКС-40/20	1°20'	0,316	4,03	-	-	12	-	-	-
БКС-50/20	2°	0,439	4,71	-	-	32	-	-	-
БКС-60/20	2°40'	0,585	5,38	-	-	48	-	-	-

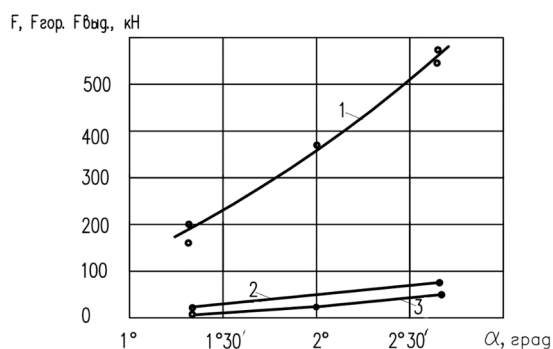


Рис. 5. График зависимости несущей способности свай при вдавливающей F (1), горизонтальной $F_{гор}$ (2) и выдёргивающей $F_{выд}$ (3) нагрузках от угла их конусности α

Выход свай из грунта под действием выдёргивающей нагрузки $F_{выд}$ показал, что сопротивление конических свай такому виду нагрузки очень мало (см. табл. 1). Критическая нагрузка достигается при 3–4 мм, когда выход свай из грунта с учётом веса свай принимает незатухающий характер. За несущую способность свай принимался выход их из грунта при нагрузке на одну ступень менее нагрузки, без увеличения которой

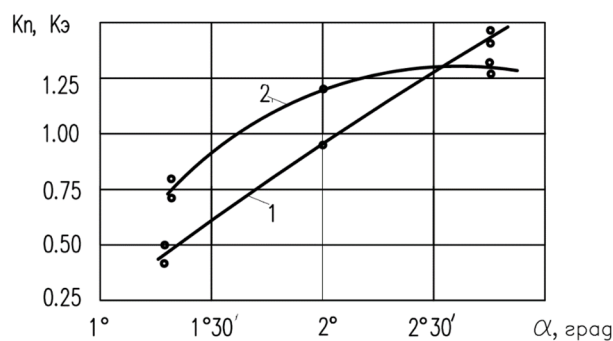


Рис. 6. График зависимости коэффициентов применения $K_{п}$ (1) и эффективности использования материала $K_{э}$ (2) от угла конусности α

выход свай непрерывно возрастал. Это относилось к величинам выхода свай на 1,5–2 мм.

Коническая свая БКС-60/20 и эталонная свая БЦС-40 имеют абсолютно одинаковую площадь боковой поверхности. Однако сопротивление у цилиндрической свай выдёргивающей нагрузке в 2,5 раза выше, чем конической. Следовательно, для конических свай характерна не величина трения по боковой поверхности, а усилие отрыва для

сил сцепления. С увеличением угла конусности свай возрастает площадь боковой поверхности, то есть увеличивается площадь сцепления с грунтом, и, соответственно, сопротивление свай выдёргивающим нагрузкам возрастает. Так, для свай БКС-40/20 несущая способность равна 12

кН, для свай БКС-50/20 – 32 кН, для свай БКС-60/20 – 48 кН.

После завершения испытаний для выявления качества изготовления буронабивных конических свай некоторые из них были откопаны (рис. 7).



Рис. 7. Откопанная буронабивная коническая свая БКС-60/20

Результаты проведенных испытаний были использованы при проектировании и строительстве сельскохозяйственных, гражданских и некоторых промышленных сооружений производственного и вспомогательного назначений.

Выводы. Несущая способность буронабивных свай может быть увеличена за счёт придания им конусной формы. Разработанные конструкции буронабивных конических свай с углом конусности от 1° до $2,5^\circ$ обладают удельной несущей способностью (на 1 м^3 материала) на 20–40 % выше, чем равные им по объёму цилиндрические сваи. Несущая способность конических свай при действии горизонтальной и выдёргивающей нагрузок тем выше, чем больше диаметр головы свай.

Результаты натурных испытаний буронабивных конических свай на разные виды нагрузок показали их эффективность. Из исследуемых типоразмеров лучшие исследуемые показатели у свай БКС-60/20, худшая у свай БКС-40/20. Область рационального применения таких свай – связные грунты, в которых не требуется крепление стенок скважин, а уровень грунтовых вод в период строительства должен быть расположен ниже глубины бурения скважины. Предпочтительнее, когда с поверхности залегают более прочные грунты. Не рекомендуется применять их в набухающих, пучинистых, а также насыпных грунтах с включением строительного мусора.

При соблюдении разработанной и опробованной технологии изготовления буронабивные конические сваи получаются хорошего качества.

Информация об авторах

Рыбникова Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры гуманитарных и естественнонаучных дисциплин.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (Новороссийский филиал). Россия, 353915, Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, д.75.

По сравнению с цилиндрическими сваями той же длины и сопоставимого диаметра такие сваи более экономичны за счёт снижения расхода материала при одинаковых затратах времени на их изготовление.

Предлагаемая конструкция свай эффективна только как для «висячих» свай при минимальных выдёргивающих нагрузках. Указанная особенность применения таких свай объясняется тем, что их несущая способность определяется главным образом сопротивлением грунта по боковой поверхности за счёт расклинивающего эффекта. Наиболее рациональны буронабивные конические сваи в составе фундаментов сельскохозяйственных и некоторых промышленных сооружений производственного и вспомогательного назначений при нагрузке на фундамент до 1 250 кН, а также жилых и общественных зданий при распределённой нагрузке до 125 кН/м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Разработка конструкций буронабивных конических свай // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 2. С. 68–72.
2. ГОСТ 5686-2012. Грунты. Методы полевых испытаний сваями.
3. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
4. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.

Рыбников Александр Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и комплексы».

E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru.

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова.

Россия, 353918, Краснодарский край, г. Новороссийск, пр. Ленина, д. 93.

Поступила в декабре 2017 г.

© Рыбникова И.А., Рыбников А.М., 2018

I.A. Rybnikova, A.M. Rybnikov

**ANALYSIS OF THE FIELD TESTS RESULTS OF BORED CONICAL PILES
UNDER THE ACTION OF VARIOUS TYPES OF LOADS**

One of the methods of improving the bearing capacity of bored piles is giving them a taper. The feature of these (wedge-type) piles is that under load they work "as a thrust" and transfer part of the load due to the normal component to the inclined side surface. Three sizes of tapered bored piles were tested, with the length of 4.5 m, head diameter 0.4; 0.5; 0.6 m and with cone angle 1° and 2,5°. The test results were compared with the test results of cylindrical piles, 4.5 m long, with head diameter 0.4 m and 0.6 m. It has been discovered that with the increasing cone angle, the bearing capacity of piles against the pressing load, especially the specific load capacity for 1 m³ of material, as compared to cylindrical piles, increases significantly. It has been determined that the larger is the diameter of the head of the pile, the higher is the bearing capacity against the horizontal load, and the bearing capacity against the pullout load is equal to the breakout force of a pile from the soil.

Keywords: bored piles, taper of piles, drilling assembly, static testing, load-bearing capacity.

REFERENCES

1. Rybnikov A.I., Rybnikov A.M., Development of construction of bored tapered piles // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 2, Pp. 68–72.

2. Russian standard 5686-2012. Soils. Methods of left-wing tests by piles.

3. Construction Regulation Standards Building Code 24.13330.2011. Pile pounds-cops. The updated edition of Construction Regulation Standards Building Code 2.02.03-85.

4. Construction Regulation Standards Building Code 22.13330.2011. Foundations of buildings and structures. The updated edition of Construction Regulation Standards Building Code 2.02.01-83*.

Information about the author

Irina A. Rybnikova, Senior lecturer.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Novorossiysk branch.

Russia, 353915, Krasnodar region, Novorossiysk, Myshaksky highway str., 75.

Aleksandr M. Rybnikov, PhD, Assistant professor, Senior researcher.

E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru.

State Maritime University named after admiral F.F. Ushakov.

Russia, 353918, Krasnodar region, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93.

Received in December 2017