

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-28-36

<sup>1</sup>Рыбникова И.А., <sup>2</sup>\*Рыбников А.М.<sup>1</sup>Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова<sup>2</sup>Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова

\*E-mail: a.ribnikov@novoroshkhp.ru

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЁТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРОНАБИВНЫХ КОНИЧЕСКИХ СВАЙ

**Аннотация.** Представлены три способа определения несущей способности буронабивных конических свай с учётом дополнительных сил отпора грунта по их наклонной боковой поверхности при вертикальной нагрузке. Несущую способность по результатам полевых испытаний предложено определять с помощью коэффициента перехода от предельной допустимой осадки фундамента здания к осадке сваи, полученной при статических испытаниях. Его величина варьируется от 0,1 до 0,3 в зависимости от угла конусности сваи. Для определения несущей способности эмпирическим способом разработаны табличные данные сил отпора грунта по боковой поверхности свай в зависимости от прочностных свойств грунтов основания, угла конусности сваи и глубины расположения изменяющегося сечения сваи по длине. Процесс обжатия грунта в пробуренной скважине упругим цилиндрическим прессиометром близок по физическому смыслу возникновению отпора грунта при его раздвижении боковой поверхностью конической сваи при осадке под нагрузкой. При этом допущении определять отпор грунта на боковой поверхности конических свай предложено по той же зависимости, что и при обработке результатов прессиометрических испытаний грунтов с учётом введения корректирующего коэффициента в зависимости от параметров сваи. Расчётная несущая способность свай, определённая по предлагаемым методикам, отличается от фактической несущей способности, определённой по результатам статических испытаний натуральных свай, в пределах 10 %. Однако, приведенные методики требуют совершенствования по мере накопления статистических данных испытаний натуральных свай в разных грунтовых условиях.

**Ключевые слова:** буронабивная свая, угол конусности сваи, несущая способность сваи, отпор грунта, прессиометрические испытания грунтов, методика расчёта.

**Введение.** Результаты натуральных испытаний трёх типоразмеров буронабивных конических свай (БКС) показали их эффективность [1, 2]. Диаметры голов буронабивных конических свай составляли  $d_r = 0,4; 0,5; 0,6$  м, диаметр торца свай  $d_o = 0,2$  м. Цифровые обозначения таких свай приняты по их наименованию, длине в м, диаметру головы и нижнего торца в сантиметрах. Таким образом, при принятых геометрических размерах угол конусности сваи БКС 40/20-4,5 составляет  $\alpha = 1^\circ 20'$ , у сваи БКС 50/20-4,5 он равен  $\alpha = 2^\circ$ , а у сваи БКС 60/20-4,5 доходит до  $\alpha = 2^\circ 40'$ .

Анализ методик расчёта свай, сужающихся к острию, выявил различный подход к определению их несущей способности. Однако существующие методики относятся только к клиновидным сваям, уплотняющим грунт вокруг них при их погружении. В то же время внедрение в практику строительства рассматриваемых конструкций буронабивных конических свай предполагает необходимость разработки методики расчёта именно их несущей способности.

**Методология.** Авторами учтена особенность определения несущей способности буронабивных конических свай по результатам натуральных полевых испытаний статическими нагруз-

ками, уточнён эмпирический способ, а также использован способ по результатам прессиометрических испытаний грунтов.

**Основная часть.** Определение несущей способности буронабивных конических свай.

**а) Способ по результатам полевых испытаний свай статическими вдавливающими нагрузками.**

Несущую способность  $F_d$  свай по результатам их испытаний вдавливающей статической нагрузкой определяется по формуле СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»:

$$F_d = F_{u,n} / \gamma_g, \quad (1)$$

где  $F_{u,n}$  – нормативное значение предельного сопротивления сваи,  $\kappa H$ ;  $\gamma_g$  – коэффициент надёжности по грунту, принимаемый, как правило, равным 1.

Для фундаментов зданий и сооружений за частное значение предельного сопротивления сваи  $F_u$  вдавливающей нагрузке следует принимать нагрузку, под воздействием которой испытываемая свая получит осадку, равную  $S$ , определяемую по формуле

$$S = \zeta S_{u,mt}, \quad (2)$$

где  $S_{u,mt}$  – предельное значение средней осадки фундамента проектируемого здания или сооружения, устанавливаемого по СП 22.23330.2011 «Основания зданий и сооружений». Предельные деформации основания фундаментов объектов нового строительства  $S_u$  для большинства зданий и сооружений составляют 10, 12, 15, 18, 20 см;  $\zeta$  – коэффициент перехода от предельного значения средней осадки фундамента здания или сооружения  $S_{u,mt}$  к осадке сваи, полученной при статических испытаниях с условной стабилизацией (затуханием) осадки, его принимают обычно равным 0,2. Соответственно осадки для назначения несущей способности сваи по графику «нагрузка-осадка» принимаются равными 20...40 мм.

В зарубежных нормах и рекомендациях (ФРГ, США, Бельгия, Индия) предельная нагрузка на сваю назначается по разным методикам: по заданной осадке, резкому перелому кривой графика, фиксированной осадке сваи при определённой нагрузке. В большинстве случаев предельная нагрузка назначается при осадках

сваи порядка 20...35 мм, то есть такими же, как и в России.

Таким образом, при определении несущей способности сваи по данным полевых испытаний их статическими ступенчатыми нагрузками важным вопросом является установление нормативного значения предельного сопротивления сваи  $F_{u,п}$  по графику «нагрузка-осадка». Коэффициент  $\zeta = S / S_{u,mt} = 0,2$ , то есть осадка сваи в составе свайного фундамента может в 5 раз превысить осадку одиночной сваи, полученную по результатам испытания. Поэтому он не в полной мере отражает действительную работу сваи. Бахолдин Б.В. и Мамонов В.М. [3], анализируя ряд данных по назначению несущих способностей буронабивных свай по результатам полевых испытаний, пришли к выводу о том, что переходной коэффициент  $\zeta$  от предельно допускаемой величины средней осадки фундамента сооружения  $S_{u,mt}$  к осадке сваи  $S$  следует принимать дифференцированно, с учётом опыта строительства.

Таблица 1

## Сопротивление буронабивных конических свай в зависимости от их осадки

Нагрузка на сваю $F_{общ}$ , кН	Осадка сваи $S$ , мм	Сопротивление, кН			$F_{отп} / F_{общ}$	$S / S_{u,mt}$
		$F_{остр}$	$F_{трени}$	$F_{отп}$		
Свая БКС 50/20-4,5						
12,5	0,96	5	7	0,5	0,05	0,008
25	1,94	7	16	2	0,08	0,016
50	3,13	14	29	7	0,14	0,026
75	6,50	19	41	15	0,20	0,054
100	7,48	24	52	24	0,24	0,062
125	10,11	28	60	37	0,30	0,084
150	19,72	34	63	53	0,35	0,16
175	26,47	40	65	70	0,4	0,22
200	39,05	49	68	83	0,42	0,33
225	51,33	57	70	98	0,44	0,43
250	75,88	67	71	112	0,45	0,63
Свая БКС 60/20-4,5						
50	0,41	-	40	5	0,1	0,003
100	0,95	25	62	13	0,13	0,008
200	3,08	47	112	41	0,21	0,025
300	6,20	62	156	82	0,27	0,052
400	10,41	75	175	150	0,38	0,090
500	16,50	86	190	224	0,45	0,15
600	25,26	103	193	304	0,51	0,23
700	40,03	122	203	375	0,54	0,34
800	62,59	146	206	448	0,56	0,53
900	108,20	154	208	538	0,60	0,90

Примечание:  $F_{общ} = F_{остр} + F_{трени} + F_{отп}$ ;  $F_{остр}$  – сопротивление сваи под нижним торцом (остриём);  $F_{трени}$  – сопротивление сил трения по боковой поверхности сваи;  $F_{отп}$  – сопротивление сил отпора грунта по наклонной (конусной) боковой поверхности сваи

Коэффициент  $\zeta = 0,2$  также не в полной мере отражает действительную работу буронабивных конических свай. Результаты исследований таких натурных тензометрических свай [2]

показали, что их несущая способность на последних ступенях нагружения в основном определяется отпором грунта по наклонной боковой по-

верхности (см. табл. 1). При малом угле конусности  $\alpha = 1^\circ 20'$  свая слабо распирает грунт и как бы «прокалывает» его. С увеличением  $\alpha$  до  $2^\circ 40'$  расклинивающий эффект проявляется значительно. Поэтому для буронабивных конических свай за критерий назначения несущей способности следует принимать величину сил отпора грунта по боковой поверхности, так как на неё приходится до 38–49 % от общей нагрузки [2]. Таким образом, коэффициент  $\zeta$  необходимо принимать дифференцированно в зависимости от угла конусности свай  $\alpha$ .

Для назначения несущей способности буронабивных конических свай по графикам испытаний «нагрузка-осадка» необходимо на кривых изменения сил отпора грунта в зависимости от осадок определить точки их перегиба, которые бы характеризовали мобилизацию сил отпора.

Однако они, как показано в работах [1, 2], неявно выражены, так как кривые имеют плавный характер (рис. 1, рис. 2). Анализ результатов несущей способности рассматриваемых свай, в том числе при построении графиков в логарифмическом масштабе по аналогии с графиками, приведенными в работах [4, 5], позволяет рекомендовать применение коэффициента  $\zeta$  по табл. 2. Для свай с большим или меньшим углом  $\alpha$  переходной коэффициент  $\zeta$  требует уточнения. В таблице 2 не приведены значения для свай с малым углом конусности, так как у них выявлено существенное завышение несущей способности. Они близки по форме и технологии устройства к цилиндрическим буронабивным сваям и для них следует принимать коэффициент  $\zeta$  как для цилиндрических свай.

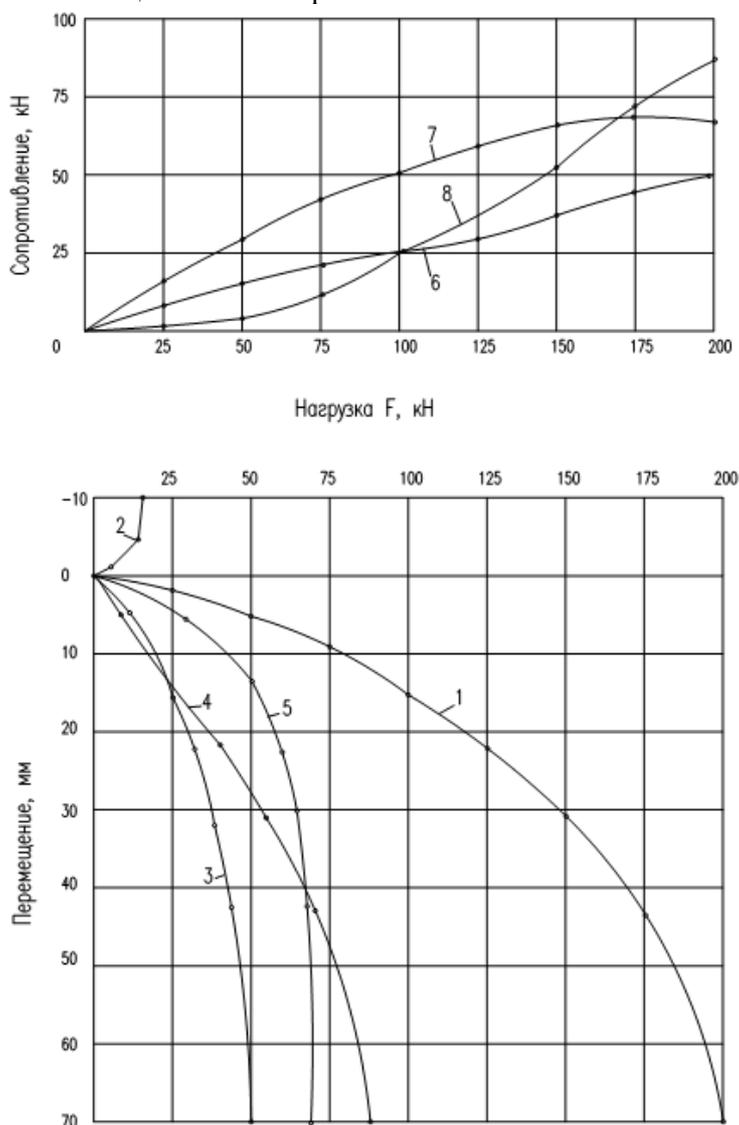


Рис. 1. Результаты исследований работы свай БКС 40/20-4,5 при различных ступенях нагружения.

График зависимостей:

1 – нагрузка – осадка свай; 2 – нагрузка-выход свай из грунта;

3 – осадка-сопротивление острия; 4 – осадка-отпор грунта;

5 – осадка-трение по стволу; 6 – нагрузка-сопротивление под остриём;

7 – нагрузка-сопротивление трения; 8 – нагрузка-сопротивление отпора

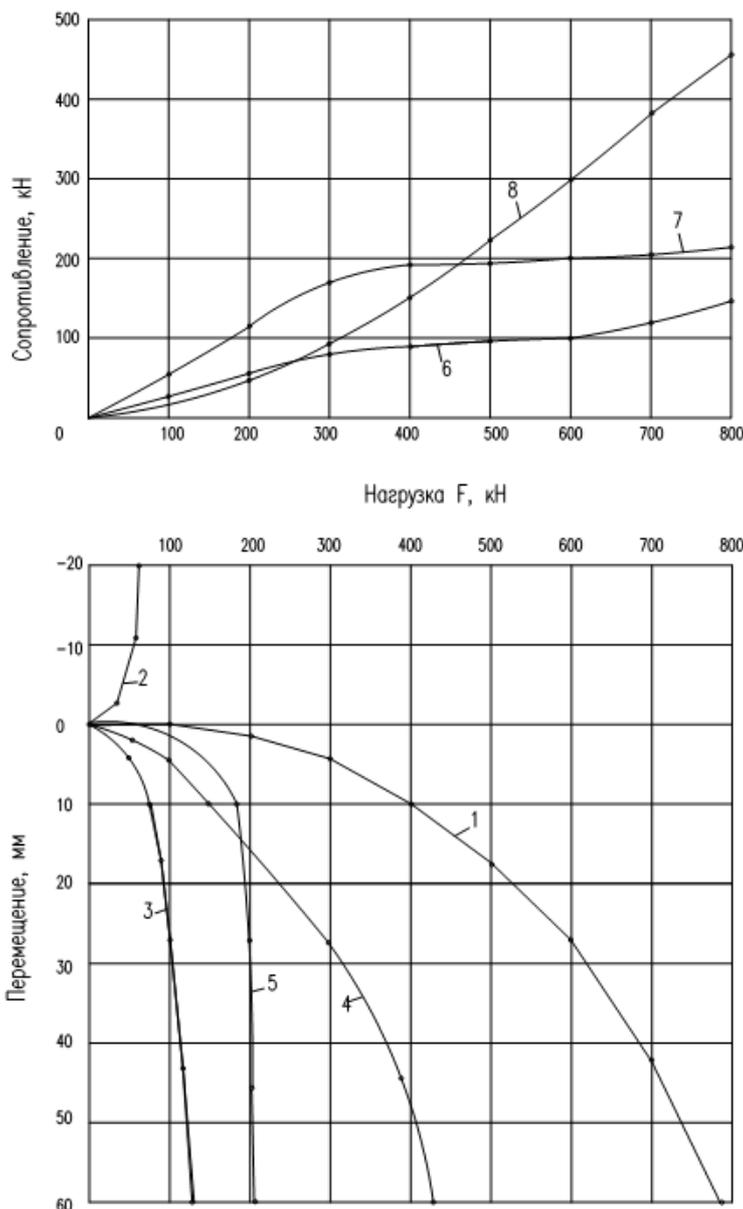


Рис. 2. Результаты исследований работы свай БКС 60/20-4,5 при различных ступенях нагружения. График зависимостей:

- 1 – нагрузка – осадка свай; 2 – нагрузка-выход свай из грунта;
- 3 – осадка-сопротивление острия; 4 – осадка-отпор грунта;
- 5 – осадка-трение по стволу; 6 – нагрузка-сопротивление под остриём;
- 7 – нагрузка-сопротивление трения; 8 – нагрузка-сопротивление отпора

*Таблица 2*

**Рекомендуемый коэффициент  $\zeta$  для буронабивных конических свай в зависимости от угла конусности  $\alpha$**

2°	2,5°	3°
0,20	0,25	0,30

**б) Эмпирический способ.**

Как было установлено экспериментально, в общем сопротивлении буронабивных конических свай вдавливающим нагрузкам участвуют и силы отпора грунта по наклонной боковой поверхности [4, 6]. Следовательно, несущую спо-

собность таких свай нужно определять по зависимости, в основу которой положена трёхчленная формула для свай с наклонной боковой поверхностью  $F_d = F_{\text{остр}} + F_{\text{тр}} + F_{\text{отп}}$ , где  $F_{\text{остр}}$  и  $F_{\text{тр}}$  принимаются по известным формулам для цилиндрических буронабивных свай согласно СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». Отпор грунта по наклонной боковой поверхности свай предлагается определять по формуле

$$F_{\text{отп}} = \sum f_i^{\text{отп}} u_i l_i k_i, \tag{3}$$

где  $f_i^{\text{отп}}$  – расчётное сопротивление  $i$ -го слоя грунта основания по боковой поверхности свай,

$кг/м^2$ ;  $u_i$  – средний периметр  $i$ -го поперечного сечения сваи,  $m$ ;  $l_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта основания, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи,  $m$ ;  $k_i$  – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности сваи, принимаемый для супесей и суглинков равным 0,6, для глин – 0,8.

Значения  $f_i^{отп}$  рекомендуется принимать по табл. 3 из условий, что отпор грунта зависит от прочностных свойств грунтов, угла конусности сваи и глубины расположения сечения сваи. Приведенные данные получены по результатам про-

веденных исследований действительного характера распределения контактных напряжений по наклонной боковой поверхности свай [1, 2]. Тенденция такого подхода подтверждается исследованиями некоторых авторов [6, 7]. В табл. 3 значения  $f_i^{отп}$  дано только при показателях консистенции грунтов  $0 < I_L \leq 0,4$ . Такое нормирование обусловлено тем, что применение буронабивных свай, в том числе цилиндрических, в грунтах с показателем  $I_L$  технологически и экономически нецелесообразно. В указанных грунтах лучше применять забивные призматические или пирамидальные сваи.

Таблица 3

Расчётное сопротивление отпора грунта  $f_i^{отп}$ , МПа

Глубина расположения сечения сваи, $m$	Угол конусности сваи $\alpha$ , град.	Отпор грунта на боковой поверхности буронабивных конических свай $f_i^{отп}$ , при показателе консистенции грунта $I_L$				
		0	0,1	0,2	0,3	0,4
0,5	1°	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001
	1°30'	0,012	0,010	0,008	0,006	0,004
	2°	0,030	0,027	0,024	0,021	0,018
	2°30'	0,041	0,037	0,033	0,029	0,025
	3°	0,060	0,055	0,050	0,045	0,040
1,0	1°	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002
	1°30'	0,013	0,011	0,009	0,007	0,005
	2°	0,035	0,032	0,029	0,026	0,023
	2°30'	0,046	0,042	0,038	0,034	0,030
	3°	0,070	0,065	0,060	0,055	0,050
2,0	1°	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003
	1°30'	0,015	0,013	0,011	0,009	0,007
	2°	0,040	0,037	0,034	0,031	0,028
	2°30'	0,056	0,052	0,048	0,044	0,040
	3°	0,080	0,075	0,070	0,065	0,060
3,0	1°	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004
	1°30'	0,018	0,016	0,014	0,012	0,010
	2°	0,050	0,047	0,044	0,041	0,038
	2°30'	0,069	0,065	0,061	0,057	0,053
	3°	0,095	0,090	0,085	0,080	0,075
4,0	1°	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005
	1°30'	0,021	0,019	0,017	0,015	0,013
	2°	0,065	0,062	0,059	0,056	0,053
	2°30'	0,082	0,078	0,074	0,070	0,066
	3°	0,115	0,110	0,105	0,100	0,095
5,0	1°	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006
	1°30'	0,035	0,022	0,020	0,018	0,016
	2°	0,082	0,078	0,074	0,070	0,066
	2°30'	0,096	0,093	0,090	0,087	0,084
	3°	0,142	0,136	0,130	0,124	0,118

**в) Способ с использованием результатов прессиометрических испытаний грунтов.**

Согласно СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» несущая способность висячих буронабивных свай определяется с учётом наименования грунта, показателя крупности песков или консистенции глинистых грунтов  $I_L$ , а также глубины заложения нижнего конца сваи. Поскольку

эти показатели не полностью характеризуют прочностные свойства грунтов при разработке метода расчёта несущей способности свай, желательно учитывать и деформационные характеристики грунтов. Бахолдин Б.В. и Игонькин И.Т. [6], рассматривая картину возникновения отпора грунта при его раздвигании боковыми гранями пирамидальной сваей, пришли к выводу о том,

что этот процесс близок по физическому смыслу к возникновению напряжений при обжатии грунта прессиометром. На основании этого вывода авторы допускают возможность при определении отпора грунта на боковой поверхности пирамидальных свай пользоваться той же зависимостью, что и при обработке результатов прессиометрических испытаний грунтов.

Как известно ГОСТ 20276-2012 «Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости» прессиометрический метод исследования грунтов состоит в обжатии их в пробуренной скважине упругим цилиндром с измерением давления обжатия при увеличении давления обжатия и соответствующих деформаций стенок скважины. Развитие этого метода отражены в работах некоторых авторов [8–10]. В свете этого наиболее достоверная картина возникновения деформаций грунта бу-

дет наблюдаться при осадке под нагрузкой буронабивной конической сваи, изготовленной в пробуренной скважине с ненарушенной структурой грунта.

На рис. 3 показана схема взаимодействия буронабивной конической сваи с грунтом при её осадке от нагрузки. Сила  $f$  аналогична силе сопротивления грунта по боковой поверхности сваи и обусловлена сцеплением и трением грунта. Сила  $f^{отп}$  является дополнительным отпором грунта при раздвигании его в стороны в процессе осадки сваи под нагрузкой. Эта сила отклоняется от нормали к боковой поверхности на угол внутреннего трения грунта  $\varphi$  и раскладывается на нормальную  $\sigma^{отп}$  и параллельную  $f'$  составляющие [11]. Сила  $f^{отп}$  дополнительно повышает трение по боковой поверхности сваи из-за увеличения напряжений, действующих нормально к боковой поверхности при осадке сваи.

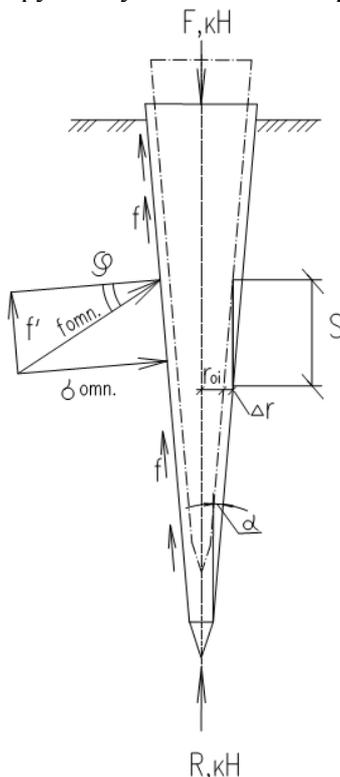


Рис. 3. Схема взаимодействия буронабивной конической сваи с грунтом основания при её осадке от вертикальной нагрузки

Сопротивление сваи, вызванное отпором грунта, определяется по зависимости:

$$f^{отп} = \sigma^{отп} \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \alpha + \sigma^{отп} \sin \alpha = \sigma^{отп} (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \alpha), \quad (4)$$

где  $\alpha$  – угол конусности сваи, град;  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта, град.

Несущая способность буронабивной конической сваи в соответствии с рис. 3 будет определяться по формуле:

$$\Phi = RF + \sum m_f u_i l_i \cos \alpha + \sum u_i l_i f^{отп} \quad (5)$$

или

$$\Phi = RF + \sum m_f u_i l_i \cos \alpha + \sum u_i l_i \sigma_i^{отп} (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \alpha). \quad (6)$$

Неизвестным в формуле (6) остаётся дополнительный отпор грунта  $\sigma_i^{отп}$ . Для его определения и воспользуемся зависимостью, принятой при обработке результатов прессиометрических испытаний грунтов. Модуль общей деформации грунта  $E_0$  по данным прессиометрических испытаний находят из уравнения

$$E_0 \frac{\psi(1+\mu_0)r_0\sigma^{отп}}{u}, \quad (7)$$

где  $\psi$  – коэффициент, зависящий от отношения длины обжимаемого цилиндром участка  $l$  к его

диаметру  $d$ ;  $\mu_0$  – коэффициент Пуассона грунта;  $r_0$  – начальный радиус скважины,  $m$ ;  $\sigma_i^{omn}$  – давление на стенки скважины,  $m/m^2$ ;  $u$  – величина деформация стенки скважины,  $m$ .

При большой длине участка нагрузки, что наблюдается при осадке свай под нагрузкой, практически уже при  $l/2 r_0 \geq 4$ ,  $\psi = 1$  и формула (7) преобразуется в известную формулу Ляме

$$E_0 = \frac{(1+\mu)r_0\Delta\sigma}{\Delta r}, \quad (8)$$

где  $\Delta\sigma$  – приращение давления на стенку скважины между двумя точками, взятыми на осреднённой прямой графика испытаний,  $m/m^2$ ;  $\Delta r$  –

приращение перемещения стенки скважины (по радиусу), соответствующее  $\Delta\sigma$ ,  $m$ .

Преобразуем формулу Ляме относительно  $\Delta\sigma = \sigma_i^{omn}$  для условий работы конической свай, тогда

$$\sigma_i^{omn} = \frac{E_0\Delta r}{K(1+\mu_0)r_{oi}}, \quad (9)$$

где  $K$  – корректирующий коэффициент, учитывающий анизотропию грунта, различную способность грунта к восприятию сжимающих и растягивающих усилий, принимаемый в первом приближении по табл. 4.

Таблица 4

**Рекомендуемый корректирующий коэффициент  $K$  для буронабивных конических свай в зависимости от угла конусности  $\alpha$**

$\alpha$	1°	1,5°	2°	2,5°	3°
$K$	2,5	1,2	0,8	0,6	0,5

Поскольку нас интересует  $\sigma_i^{omn}$  в состоянии, при котором назначается несущая способность свай, то радиальное перемещение  $\Delta r$  следует принимать при осадке свай

$$S = \zeta S_{пр.ср}, \quad (10)$$

где  $\zeta$  – дифференцированный переходной коэффициент, принимаемый по табл. 2;  $S_{пр.ср}$  – предельно допустимое значение средней осадки фундамента здания или сооружения, определяемое по СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» (Приложение Д, табл. Д.1).

Тогда  $\Delta r = S \operatorname{tg} \alpha$ . Следовательно, отпор грунта можно определять по формуле

$$\sigma_i^{omn} = \frac{E_0 S}{K(1+\mu_0)r_{oi}} \operatorname{tg} \alpha. \quad (11)$$

Применительно к результатам испытаний натуральных буронабивных конических свай [4] была определена их несущая способность по формуле (6). Из табл. 5, в которой приведена фактическая несущая способность свай по результатам полевых испытаний (с учётом дифференцированного коэффициента  $\zeta$ ), видно, что расчётные и опытные данные различаются не более, чем на 10 %. Это свидетельствует о достаточной точности для практического применения предлагаемого метода расчёта.

Таблица 5

**Несущая способность буронабивных конических свай,  $kH$**

Марка свай	Угол конусности свай $\alpha$ , град	Длина свай, $m$	Опытные данные	Теоретические данные	Сходимость данных, %
БКС-50/20-4,5-1	1°20'	4,5	340	328	4
БКС 50/20-4,5 -2	1°20'	4,5	380	347	10
БКС-60/20-4,5	2°40'	4,5	628	624	1
БКС-40/20-4,5	2°	4,5	180	206	8

**Выводы.**

1. Разработанные методики расчёта несущей способности буронабивных конических свай учитывают дополнительные силы отпора грунта по наклонной боковой поверхности, которые определяются при помощи составленной таблицы удельных сил отпора или по результатам исследований грунтов прессиометром. При этом величина сопротивления под нижним торцом и сил трения по боковой поверхности свай определяются по СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». Расчётная несущая способность свай, определённая по предлагаемым методикам, отличается от фактической несущей способности,

определённой по результатам статических испытаний натуральных свай, в пределах 10 %.

2. При накоплении данных результатов испытаний натуральных буронабивных конических свай рассматриваемых конструкций в разных грунтовых условиях оснований фундаментов следует совершенствовать приведенные методики расчёта их несущей способности, так как расхождение в 10 % по ним от фактической несущей способности достаточно большое.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Анализ результатов натурных испытаний буронабивных конических свай на действие различных видов нагрузок // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 3. С. 24–29.
2. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Анализ результатов тензометрических исследований работы буронабивных конических свай // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2020. № 2. С. 44–55.
3. Бахолдин Б.В., Мамонов В.М. Совершенствование норм проектирования буронабивных свай // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1972. № 6. С. 21–22.
4. Далматов Б.И., Лапшин Ф.К. Россихин Ю.В. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов. Л.: Стройиздат, 1975. 240 с.
5. Хилобок В.Г., Великородный Ю.И. К методике интерпретации результатов испытаний свай статической нагрузкой // Свайные фундаменты в просадочных грунтах. Киев: КГУ. 1970. С. 53–57.
6. Бахолдин Б.В., Игонькин И.Т. Исследование несущей способности пирамидальных свай // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1978. № 3. С. 13–16.
7. Готман А.Д., Зиязов Я.Ш. Определение несущей способности свай в выштампованном ложе // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1984. № 2. С. 12–15.
8. Трофименков Ю.Г., Воробков Л.Н. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. М.: Стройиздат, 1981. 215 с.
9. Лушников В.В. Развитие прессиометрического метода исследований нескальных грунтов. М.: Стройиздат, 1991. 392 с.
10. Бондарин Г.К., Коренева С.Л., Горячева Д.С. Методические рекомендации по определению деформационных и прочностных свойств глинистых пород методом прессиометрии. М.: Мингеологии СССР, 1971. 65 с.
11. Лапшин Ф.К. Расчёт свай по предельным состояниям. Саратов: Саратовский университет, 1979. 152 с.

### Информация об авторах

**Рыбникова Ирина Александровна**, старший преподаватель кафедры гуманитарных и естественнонаучных дисциплин. E-mail: 7upa7@mail.ru. Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. Россия, 353915, Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, д. 75.

**Рыбников Александр Михайлович**, старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент кафедры подъёмно-транспортных машин и комплексов. E-mail: a.ribnikov@novoroshkp.ru. Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. Россия, 353918, Новороссийск, пр. Ленина, д. 93.

Поступила 12.01.2021 г.

© Рыбникова И.А., Рыбников А.М., 2021

<sup>1</sup>Rybnikova I.A., <sup>2,\*</sup>Rybnikov A.M.

<sup>1</sup>Novorossiyskiy branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

<sup>2</sup>State Maritime University named after adm. F. F. Ushakov

\*E-mail: a.ribnikov@novoroshkp.ru

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING THE BEARING CAPACITY OF BORED CONICAL PILES

**Abstract.** Three methods for determining the load-bearing capacity of bored conical piles are presented, considering the additional forces of the ground rebound along their inclined side surface under vertical load. It is proposed to determine the bearing capacity according to the results of field tests using the coefficient of transition from the maximum permissible settlement of the building foundation to the settlement of the pile obtained during static tests. Its value varies from 0.1 to 0.3 depending on the angle of the pile taper. To determine the bearing capacity of the empirical method, tabular data of the ground rebound forces on the side surface of the piles are developed. It depends on the strength properties of the base soil, the angle of the pile taper and the depth of the location of the changing cross-section of the pile along the length. The process of compressing the soil in a drilled well with an elastic cylindrical pressiometer is close to the occurrence of a ground rebound when it is pushed apart by the side surface of a conical pile during sediment under load. It is proposed to determine the ground resistance on the side surface of conical piles according to the same dependence as when processing the results of pressiometric tests of soils, taking into account the introduction of a correction factor depending on the parameters of the pile. The calculated load-bearing capacity of the piles, determined by the proposed methods, differs from the actual load-bearing capacity, determined by the results

of static tests of full-scale piles, within 10 %. However, these methods need to be improved with the accumulation of statistical data for testing full-scale piles in different ground conditions.

**Keywords:** bored piles, the taper angle of piles, bearing capacity of the pile, resistance of the soil, passive testing of soil, method of calculation.

#### REFERENCES

1. Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Analysis of the results of field testing of drilled conical piles on the action of different types of loads. [Analiz rezultatov naturnyh ispytanij buronabivnyh konicheskikh svaj na dejstvie razlichnyh vidov nagruzok]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 3. Pp. 24–29. (rus)
2. Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Analysis of the results of tensometric studies of the work bored conical piles. [Analiz rezultatov tenzometricheskikh issledovaniy raboty buronabivnyh konicheskikh svaj]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 2. Pp. 4455. (rus)
3. Bakhholdin B.V., Mamonov V.M. Improve standards for designing bored piles. [Sovershenstvovanie norm proektirovaniya buronabivnyh svaj]. Bases, foundations and soil mechanics. 1972. No. 6. Pp. 21–22. (rus)
4. Dalmatov B.I., Lapshin F.K., Rossikhin Yu. V. Design of pile foundations in conditions of weak soils. [Proektirovanie svajnyh fundamentov v usloviyah slabyyh gruntov]. L.: Stroyizdat, 1975. 240 p. (rus)
5. Khilobok V.G., Velikorodny Yu.I. To the method of interpretation of the results of testing piles with static load. [K metodike interpretatsii rezultatov ispytanij svaj staticheskoy nagruzkoj]. Pile foundations in subsidence soils. Kiev: KSU.1970. Pp. 53–57. (rus)
6. Bakhholdin B.V., Igonkin I.T. Investigation of the bearing capacity of pyramidal piles. [Issledovanie nesushchej sposobnosti piramidalnyh svaj]. Bases, foundations and soil mechanics. 1978. No. 3. Pp. 13–16. (rus)
7. Gotman A.D., Ziyazov Ya.Sh. Determination of the bearing capacity of piles in a vyshtampovannom bed. [Opredelenie nesushchej sposobnosti svaj v vyshtampovannom lozhe]. Bases, foundations and soil mechanics. 1984. No. 2. Pp. 12–15. (rus)
8. Trofimenkov Yu. G., Vorobkov L.N. Field methods for studying construction properties of soils. [Polevye metody issledovaniya stroitelnyh svoystv gruntov]. M.: Stroyizdat, 1981. 215 p. (rus)
9. Lushnikov V.V. Development of the pressiometric method for studying non-rock soils. [Razvitiye pressiometricheskogo metoda issledovaniy neskalnyh gruntov]. M.: Stroyizdat, 1991. 392 p. (rus)
10. Bondarin G.K., Koreneva S.L., Goryacheva D.S. Methodical recommendations for determining the deformation and strength properties of clay rocks by the method of pressiometry. [Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu deformatsionnyh i prochnostnyh svoystv glinistykh porod metodom pressiometrii]. M.: Mingeologiya SSSR. 1971. 65 p. (rus)
11. Lapshin K.F. Calculation of the pile ultimate limit state. [Raschyot svaj po predelym sostoyaniyam]. Saratov: Saratov University. 1979. 152 p. (rus)

#### Information about the authors

**Rybnikova, Irina A.** Senior Lecturer of the Department of Humanities and Natural Sciences. E-mail: 7upa7@mail.ru. Novorossiysk branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 353915, Novorossiysk, str. Myshakskoe shosse, 75.

**Rybnikov, Alexander M.** Senior Researcher, PhD, Assistant Professor of the Department of Lifting and Transport Machines and Complexes. E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru. Admiral F.F. Ushakov State Maritime University. Russia, 353918, Novorossiysk, Lenin Ave., 93.

*Received 12.01.2021*

#### Для цитирования:

Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Разработка методики расчёта несущей способности буронабивных конических свай // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 28–36. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-28-36

#### For citation:

Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Development of a method for calculating the bearing capacity of bored conical piles. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 28–36. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-28-36