

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-44-55

¹Рыбникова И.А., ²*Рыбников А.М.¹Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова²Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова

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

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ НАТУРНЫХ БУРОНАБИВНЫХ КОНИЧЕСКИХ СВАЙ

Аннотация. Исследовались четыре буронабивные сваи двух типоразмеров длиной 4,5 м, диаметрами голов 0,4 и 0,6 м, диаметрами нижнего торца 0,2 м с углом конусности 1о20' и 2о40' соответственно. Две сваи были оснащены по высоте четырьмя тензодинамометрами, и две – десятью мессдозами по пять с каждой из диагональных противоположных сторон. Грунты на экспериментальном полигоне сложены твёрдой супесью. По данным измерений тензодинамометров и мессдоз строились эпюры распределения усилий и напряжений в сечениях по стволу свай, а также эпюры контактных напряжений по их боковой поверхности. Результаты исследований позволили выявить, что в несущей способности буронабивных конических свай в значительной мере участвуют дополнительные силы отпора грунта по наклонной боковой поверхности при её осадке под нагрузкой. Доля отпора грунта, в зависимости от угла конусности, составляет 34–50 % от общей несущей способности, сопротивление нижнего торца – 17–23 %, трение по боковой поверхности ствола – 34–43 %. Эти данные указывают на эффективность придания стволам буронабивных свай длиной до 5 м даже незначительной конусности в пределах 1,5°–3,0°.

Ключевые слова: буронабивная свая, конусность сваи, несущая способность, мессдоза, тензодинамометр, отпор грунта, эпюра усилий, эпюра напряжений.

Введение. По сравнению с забивными сваями у цилиндрических буронабивных свай аналогичных размеров несущая способность обычно меньше из-за отсутствия уплотнённого слоя грунта вдоль боковой поверхности и под остриём (нижним торцом). Поэтому практически все усовершенствования конструкций буронабивных свай касаются устранения этого недостатка за счёт придания боковой поверхности шероховатости, волнистости, утолщений и/или устройства под нижним торцом уширений или уплотнений. Так ещё в 1927 году проф. Дмоховский В.К. [1] отмечал принцип устройства усовершенствованных свай Компрессоля (1900 г.) и Франкиньюля (1909 г.) путём тампонирувания бетона в скважине, что позволяло вдавливать бетонную смесь в основание, а также стенки скважин и тем самым получать по высоте переменный диаметр конструкции. К этому же типу по технологии устройства относятся частотрамбованные сваи [2]. Известны буронабивные сваи Франки с гофрированной поверхностью ствола [3, 4].

Инженеры А.Э. Страус и Е.П. Хлебников разработали конструкции свай с неровностями по стволу и уширенной пятой [5]. Уширения ствола сваи в нижнем торце придаются камуфлетным взрывом [6], статическим вдавливанием лучевидного уширителя [7], раскатыванием роликами [8] или резанием грунта [9]. К современным разработкам повышения несущей способности буронабивных свай можно отнести буроинь-

екционные (корневидные сваи) [10, 11], с вибровтрамбовыванием в основании сваи щебня [12], а также сваи с термохимическим уширением в основании [13], сваи РИТ с применением разрядно-импульсной [14] и электроразрядной технологий [15] для получения многоместных уширений по стволу.

К сваям повышенной несущей способности относятся набивные конической формы, изготавливаемые в пробитых лидером скважинах [16, 17]. Логично было изменить цилиндрическую форму на коническую и для буронабивных свай. В этом случае по наклонной боковой поверхности кроме сил трения появляется дополнительный нормальный отпор грунта при вертикальной нагрузке. С целью проверки наличия такого эффекта у буронабивных конических свай при их нагружении разработаны три типоразмера таких свай [18]. Диаметры голов свай были приняты $d_r = 0,4; 0,5; 0,6$ м. Минимальный диаметр у острия для всех свай был принят $d_o = 0,2$ м. При длине свай 4,5 м и принятых параметрах сечений конусность свай составила соответственно $\alpha = 1^\circ \dots 2,5^\circ$. Буквенные обозначения свай были приняты по их наименованию – БКС (буронабивные конические сваи). Цифровые обозначения свай приняты по их длине в м, диаметру головы и нижнего торца у острия в сантиметрах, например, – БКС- 4,5-40/20 (длина сваи 4,5 м, голова 40 см, нижний торец у острия 20 см).

Методы и конструкции. С целью изучения взаимодействия буронабивных конических свай

заданных параметров с грунтом основания были проведены модельные [18] и натурные [19]. испытания на действие различных видов нагрузок, которые показали их эффективность. Дополнительно на экспериментальном полигоне [19] проведены исследования по распределению усилий по длине ствола и по боковой поверхности свай при статических вдавливающих нагрузках.

Известен ряд конструкций применяемых приборов и оборудования для измерений и деформаций конструкций в грунтах [20], но оптимальными для исследований конкретно буронабивных конических свай являются тензодинамометры, устройство которых приведено в работе [21] и мессдозы конструкции ЦНИИСК [22]. Поэтому предпочтение было отдано тензометрическому методу исследований, как одному из наиболее точных и надёжных [23].

Исследования проводились на четырёх буронабивных конических сваях, оснащённых тензодинамометрическим оборудованием. В сваях БКС-4,5-40/20 с углом конусности $\alpha = 1^\circ 20'$ и БКС-4,5-60/20 с углом конусности $\alpha = 2^\circ 40'$ были установлены по четыре тензодинамометра. В таких же сваях БКС-4,5-40/20 и БКС-4,5-60/20 – по десять мессдоз (по пять с каждой из диагонально противоположных сторон по высоте). Грунт основания исследуемых свай на экспериментальном полигоне однородный – твёрдая супесь с объёмной массой $\rho = 1,82 \text{ т/м}^3$, углом внутреннего трения $\varphi = 22^\circ$ и модулем деформации $E = 18 \text{ МПа}$.

В статье приводятся результаты полевых испытаний натурных буронабивных конических свай БКС-4,5-40/20 и БКС-4,5-60/20, оснащённых тензодинамометрическим оборудованием, на действие вертикальной вдавливающей нагрузки по ГОСТ 5686-2012. Несущая способность свай определялась по графикам зависимости «нагрузка-осадка» согласно СП 24.13330.2011 и СП 22.13330.2011. После каждой ступени нагружения свай снимались показания мессдоз, а также тензодинамометров, и по ним строились эпюры распределения усилий в сечениях по стволу и контактных напряжений по боковой поверхности свай.

Основная часть. Эпюры распределения усилий F_i в сечениях буронабивных конических свай, полученные по показаниям тензодинамометров, приведены на рис. 1, рис. 2. Очертание эпюр распределения усилий – криволинейное. Как видно из рисунков, основная нагрузка воспринималась верхними расширенными частями свай и уменьшалась по стволу сверху вниз. Торце у острия свай БКС-4,5-40/20 вступал в работу сразу же при первой ступени нагрузки 12,5 кН, его сопротивление составляло 29 % от нагрузки.

При дальнейшем нагружении свай доля сопротивления торца у острия уменьшалась до 22 % при нагрузке 125 кН, и затем вновь возрастала до 24,5 % при нагрузке 200 кН.

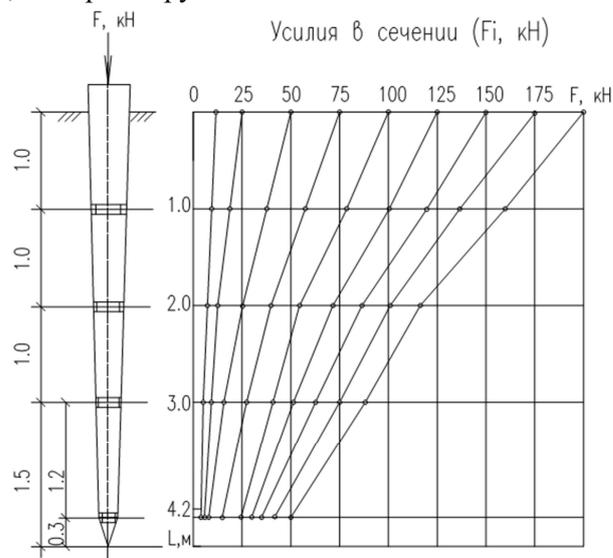


Рис. 1. Эпюры распределения усилий F_i в сечениях по стволу свай БКС-4,5-40/20, оснащённых тензодинамометрами, при различных ступенях нагружения

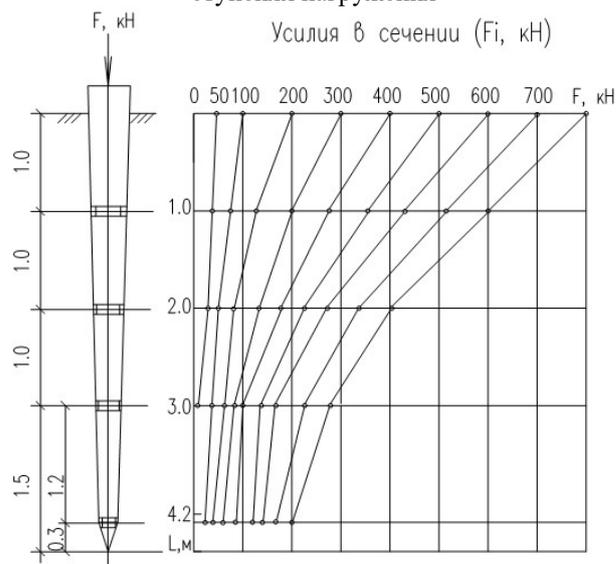


Рис. 2. Эпюры распределения усилия F_i в сечениях по стволу свай БКС-4,5-60/20, оснащённых тензодинамометрами, при различных ступенях нагружения

У свай БКС-4,5-60/20 нижний торец у острия вступал в работу лишь после приложения второй ступени нагружения в 100 кН, достигая сопротивления при этом 12 % от величины ступени. Затем сопротивление постепенно нарастало до 19 % при ступенях нагружения до 500 кН и оставалось практически неизменным в пределах 18... 19 % при нагрузках 600...800 кН.

Эпюры распределения нормальных напряжений σ_i в сечениях свай БКС-4,5-40/20 приве-

дены на рис. 3, а сваи С-4,5-60/20 – на рис 4. Значения для построения эпюр распределения напряжения в сечениях сваи σ_i вычислялись по формуле

$$\sigma_i = F_i / \pi r_i^2, \quad (1)$$

где F_i – нагрузка в i -ом сечении сваи с тензодинамометром при определённой ступени нагружения, кН; r_i – радиус рассматриваемого сечения сваи, м.



Рис. 3. Эпюры распределения нормального напряжения σ_i в сечениях по стволу сваи БКС-4,5-40/20, оснащённой тензодинамометрами, при различных ступенях нагружения

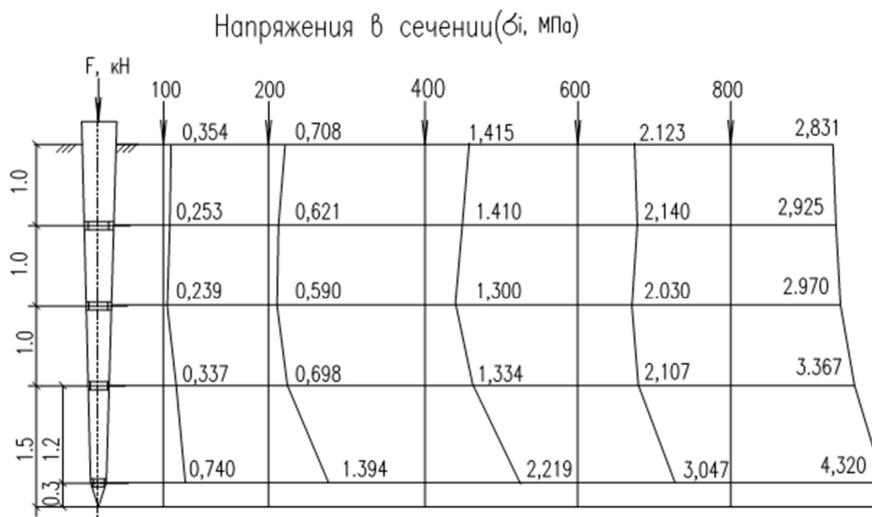


Рис. 4. Эпюры распределения нормального напряжения σ_i в сечениях по стволу сваи БКС-4,5-60/20, оснащённой тензодинамометрами, при различных ступенях нагружения

У сваи БКС-4,5-40/20 нормальное напряжение по длине стола в целом распределялось равномерно, несколько уменьшаясь к острию (рис. 3). Максимальное значение $\sigma_i = 1,622$ МПа достигалось на глубине 1 м и 3 м на последней приложенной ступени нагрузки в 200 кН. У сваи БКС-4,5-60/20 наоборот, напряжение у острия постоянно увеличивалось (рис. 4), достигая наибольшей величины $\sigma_i = 4,320$ МПа при ступени нагрузки в 800 кН.

Эпюры нормального отпора грунта $f_i^{отп}$ по наклонной боковой поверхности свай, построенные по данным измерений напряжений мессдозами, приведены на рис. 5 б, 6 б. Удельные силы трения f_i по стволу сваи (рис. 5 в, 6 в) вычислялись по формуле

$$f_i = \frac{F_i - F_{i+1}}{\pi (d_i + d_{i+1}) l_i} - f_i^{отп}, \quad (2)$$

где F_i, F_{i+1} – показания тензодинамометра (продольные силы) в участках торцов ствола сваи,

кН; d_i, d_{i+1} – диаметры торцов участков ствола сваи, м; l_i – длина образующей конусного участка ствола сваи между сечениями с тензодинамометрами, м; $f_i^{\text{отп}}$ – показания мессдоз на соответствующей глубине (в середине каждого рассматриваемого участка), МПа.

Суммарное напряжение на боковой поверхности конической сваи ($f_i + f_i^{\text{отп}}$) равнялось сумме эпюр нормальных и касательных составляющих сил сопротивления (рис. 5 а, рис. 6 а).

Анализируя результаты полученных измерений, можно отметить, что в верхней части сваи силы отпора $f^{\text{отп}}$ проявились сразу же на первых ступенях нагружения. По мере увеличения нагрузки максимальные значения сил отпора снижались. В нижней части сваи силы отпора, имея малую величину на начальной стадии нагружения, с ростом нагрузки и при осадке сваи на 20–25 мм увеличивались, достигая своего максимума на последней ступени нагружения. Для сваи БКС-4,5-40/20 максимальное значение $f^{\text{отп}} = 0,025$ МПа, а для сваи БКС-4,5-60/20 оно равно $f^{\text{отп}} = 0,109$ МПа (рис. 5 б, рис. 6 б). Резкое увеличение сил отпора в нижней части сваи можно объяснить выпором грунта из-под её острия.

Характер эпюр касательных напряжений несколько отличается от характера эпюр нормальных напряжений. На первых ступенях касательные напряжения f_t также проявлялись в основном в верхней части свай. Затем трансформировались и становились практически постоянными по всей длине ствола, немного увеличиваясь у острия. У сваи БКС-4,5-40/20 удельные силы трения при осадке сваи на 24 мм составили 0,028 МПа, у сваи БКС-4,5-60/20 соответственно 0,045 МПа (рис. 5 в, рис. 6 в) Отсюда можно сделать вывод, что у конических буронабивных свай силы трения по боковой поверхности зависят от величины обжатия грунта (уплотнения), окружающего сваю, при осадке сваи. Чем больше угол конусности у сваи, тем значительно проявляются силы трения по боковой поверхности.

Суммарные эпюры напряжений на контакте «свая-грунт» близки по виду к эпюрам нормальных напряжений, то есть в формировании сопротивления свай по боковой поверхности преобладающая роль отводится нормальным силам отпора грунта. Естественно, что числовые значения распределения усилий в сечении сваи, отпора и сил трения по боковой поверхности сваи БКС-4,5-50/20 займут место в интервале между выявленными значениями этих величин для свай БКС-4,5-40/20 и БКС-4,5-60/20.

Результаты исследований показали, что несущая способность свай $F_{\text{общ}}$ на последних ступенях нагружения в основном определяется отпором грунта по наклонной боковой поверхности $F_{\text{отп}}$ (табл. 1). Соотношение между сопротивлением грунта по боковой поверхности и у острия конической сваи при различных ступенях нагружения можно проследить на совмещённых графиках. В начальной стадии нагружения сваи БКС-4,5-40/20 до нагрузки в 100 кН отмечалось интенсивное увеличение сил трения по боковой поверхности (рис. 7, кривые 5, 7). С увеличением нагрузки несущая способность за счёт сил трения и сцепления исчерпывалась при осадке сваи на 15–20 мм.

В то же время возрастал отпор грунта, на который при нагрузке в 100 кН приходилось 24 %, и в 150 кН – 30 % от общей нагрузки (рис. 7 кривые 4, 8). Сопротивление у острия на всех этапах нагружения можно принять возрастающим прямо пропорционально нагрузке, оно не превышает 30 % (рис. 7 кривые 3, 6). Характерно, что силы трения по боковой поверхности (рис. 7 кривая 5) резко отличаются от сопротивления выдёргивающей нагрузке (рис. 7 кривая 2), то есть кривая 2 характеризует не силу трения при выдёргивании, а усилия отрыва сваи от грунта.

У сваи БКС-4,5-60/20 на первых ступенях нагрузки (100–200 кН) преобладающее значение имели также силы трения по боковой поверхности (рис. 8, кривые 5, 7). При ступени в 50 кН вся нагрузка воспринималась только боковой поверхностью, так как осадка составляла лишь 0,2 мм при которой нижний конец у острия в работу ещё не включился. При нагрузке в 200 кН основная роль уже отводилась силам отпора. Так при нагрузках в 400, 600, 800 кН на силы отпора приходилось 37, 51, 57 % от них соответственно. Нижний конец сваи у острия при различных ступенях нагружения воспринимал 17–25 % от нагрузки, то есть несколько меньше, чем у сваи БКС-4,5-40/20.

Сопротивление трению резко уменьшалось при осадке сваи БКС-4,5-60/20 на 10–15 мм, однако оно полностью не мобилизовывалось и продолжало незначительно увеличиваться и при осадках на 20...24 мм. Это явление вполне закономерно и его можно объяснить тем, что мобилизация сил трения у конических свай происходит в условиях постоянно увеличивающегося нормального напряжения. Поэтому силы трения растут даже при проскальзывании сваи относительно грунта основания. У сваи БКС-4,5-40/20 это явление менее заметно, так как она имеет небольшой угол конусности.

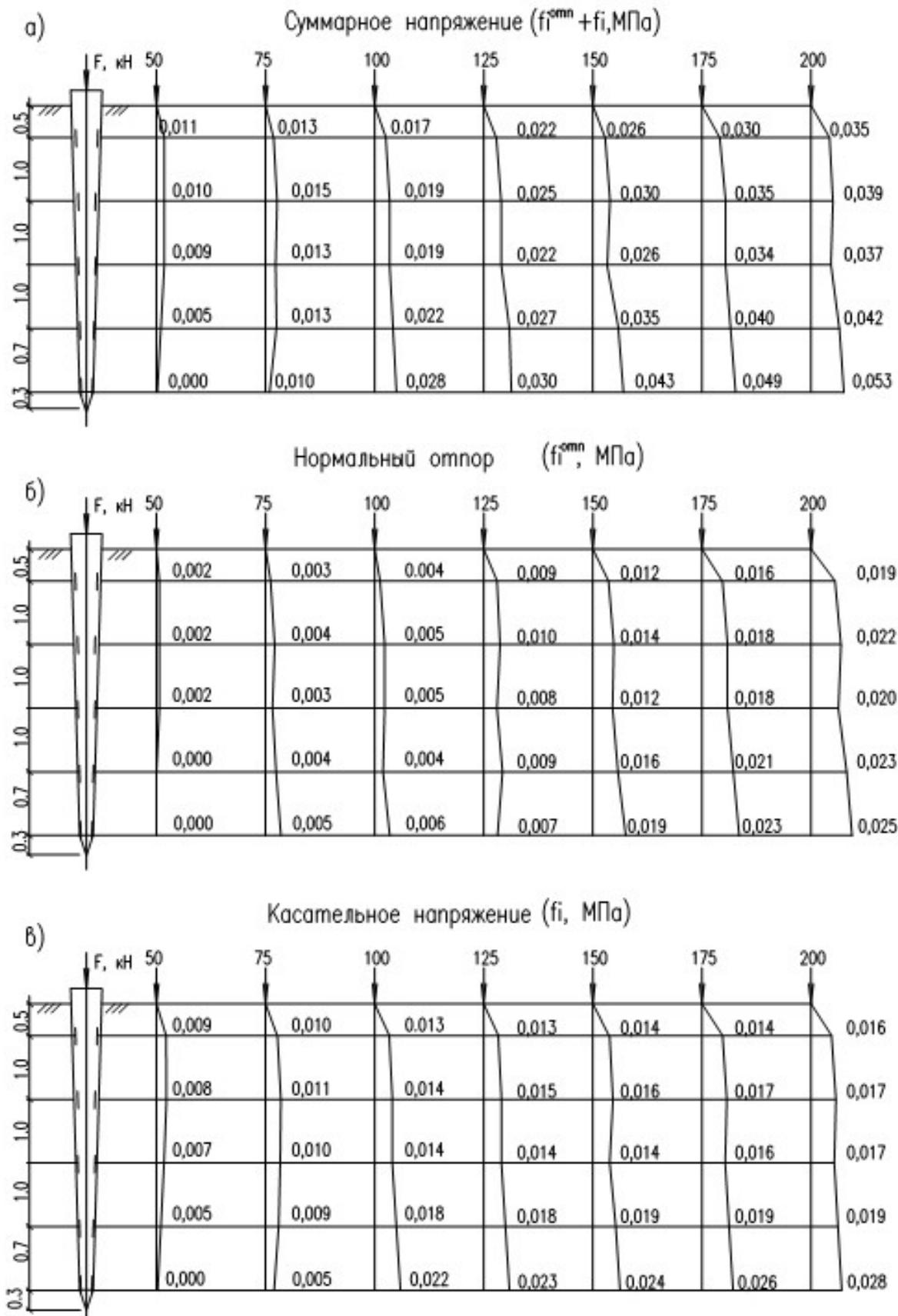


Рис. 5. Эпюры контактных напряжений на боковой поверхности сваи БКС-4,5-40/20, оснащённой месдозами, при различных ступенях нагружения: а – суммарное напряжение; б – нормальный отпор грунта f_i^{omn} ; в – касательное напряжение f_i от сил трения

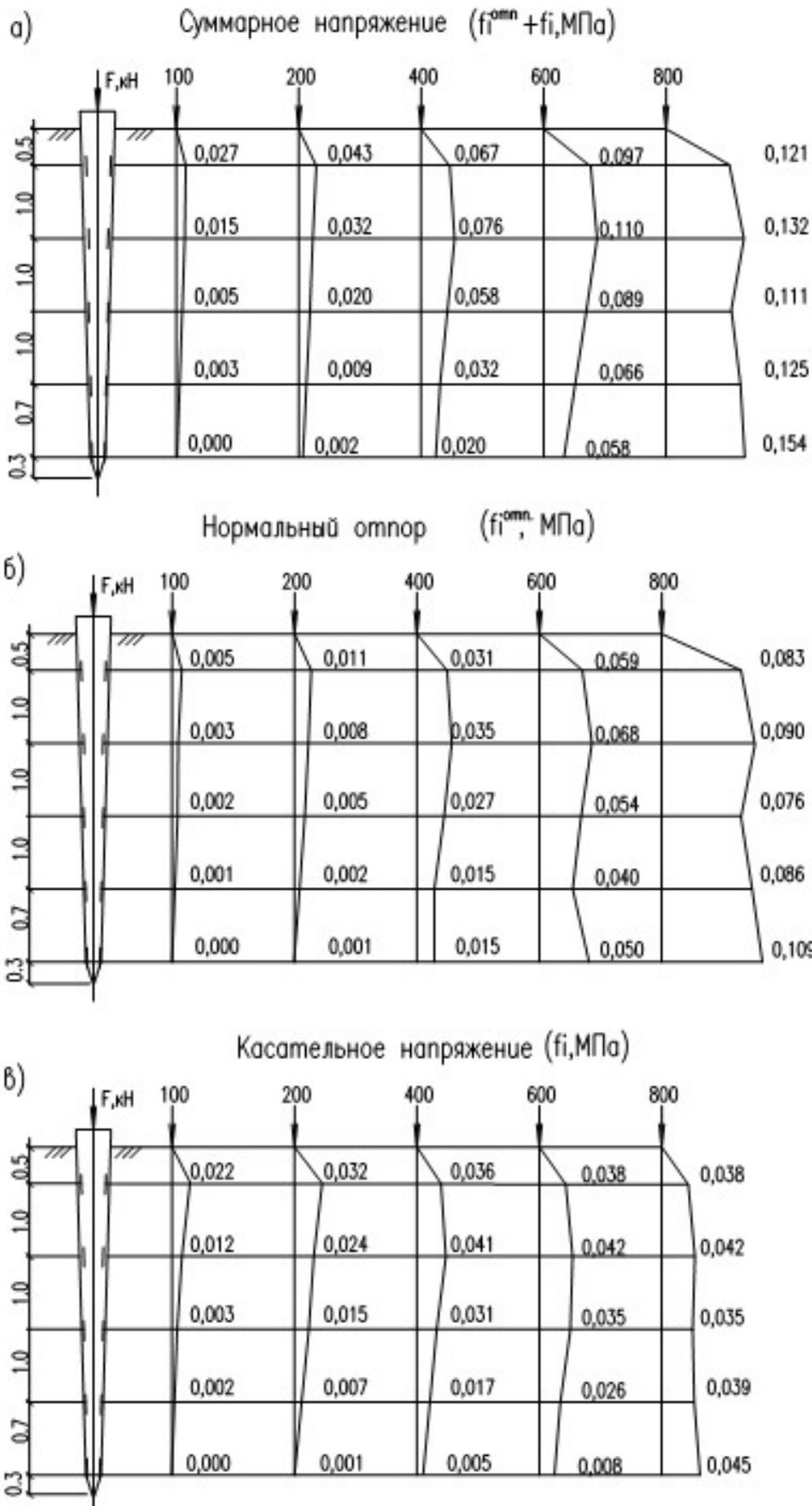


Рис. 6. Эпюры контактных напряжений на боковой поверхности сваи БКС-4,5-60/20, оснащённой мессдозами, при различных ступенях нагружения: а – суммарное напряжение; б – нормальный отпор грунта f_i^{omn} ; в – касательное напряжение f_i от сил трения

Таблица 1

Сопrotивление буронабивных конических свай в зависимости от их осадки

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

Данные о распределении общего сопротивления исследуемых буронабивных конических свай на составляющие при осадке на 24 мм сведены в табл. 2. Несущая способность принята осреднённой для каждой из двух исследованных

типоразмеров свай. Приведенные данные показывают, что у свай БКС-4,5-40/20 доля острия в общей несущей способности составляет 23 %, трения – 43 %, отпора – 34 %. У свай БКС-4,5-60/20 распределение несколько иное – на острие приходится – 17 %, трение – 34 %, отпор – 49 %.

Таблица 2

Результаты разделения сопротивления сваи при вдавливающей нагрузке на составляющие по боковой поверхности ствола и под нижним торцом (остриём)

Марка сваи	Сопrotивление сваи, кН				$F_{остр} / F_{обц}$	$F_{трен} / F_{обц}$	$F_{отп} / F_{обц}$
	$F_{обц}$	$F_{остр}$	$F_{трен}$	$F_{отп}$			
БКС-4,5-40/20	183	45	76	62	0,23	0,43	34
БКС-4,5-60/20	570	98	192	280	0,17	0,34	0,49

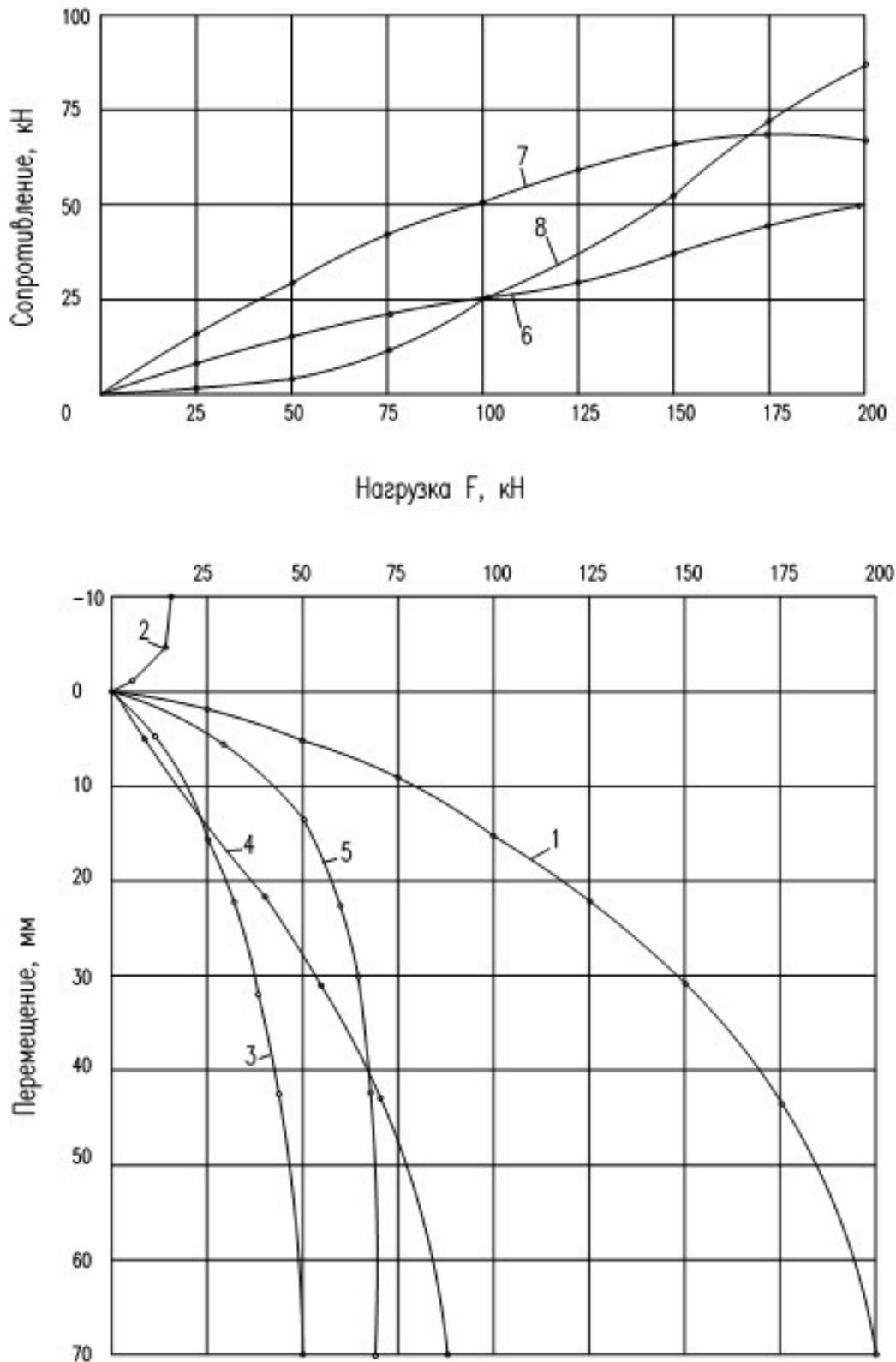


Рис. 7. Результаты исследований работы свай БКС-4,5-40/20 при различных ступенях нагружения. График зависимостей: 1 – нагрузка – осадка свай; 2 – нагрузка-выход свай из грунта; 3 – осадка-сопротивление острья; 4 – осадка-отпор грунта; 5 – осадка-трение по стволу; 6 – нагрузка-сопротивление под остриём; 7 – нагрузка-сопротивление трения; 8 – нагрузка-сопротивление отпора.

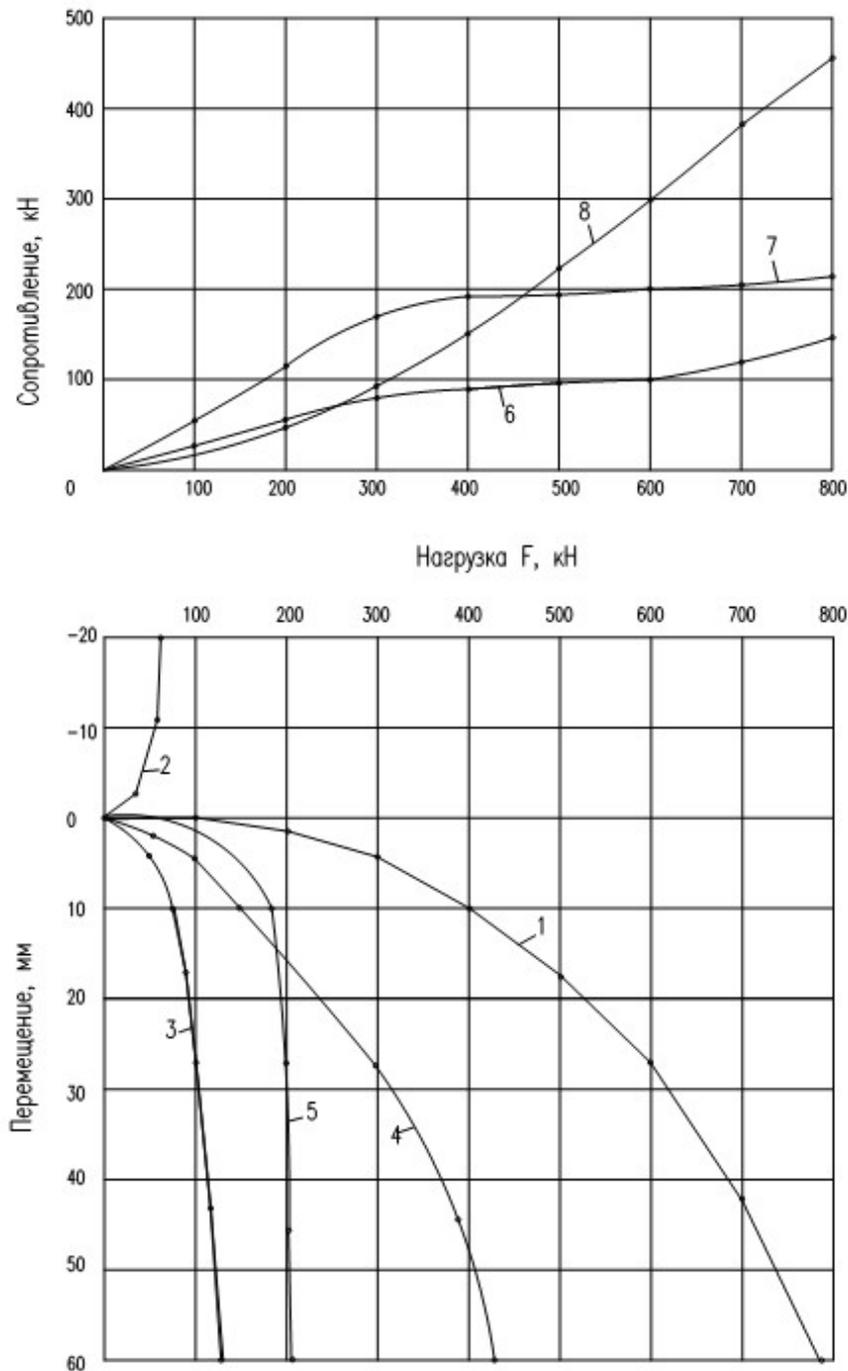


Рис. 8. Результаты исследований работы сваи БКС-4,5-60/20 при различных ступенях нагружения. График зависимостей: 1 – нагрузка – осадка сваи; 2 – нагрузка-выход сваи из грунта; 3 – осадка-сопротивление острия; 4 – осадка-отпор грунта; 5 – осадка-трение по стволу; 6 – нагрузка-сопротивление под остриём; 7 – нагрузка-сопротивление трения; 8 – нагрузка-сопротивление отпора

Выводы:

1. Проведенные тензометрические исследования работы натуральных буронабивных конических свай позволили выявить, что в их несущей способности в значительной мере участвуют дополнительные силы нормального отпора грунта по наклонной боковой поверхности при её осадке под нагрузкой. Доля отпора грунта, в зависимости от угла конусности, составляет 34–49 % от общей несущей способности, сопротивление у

острия – 17–23 %, трения по боковой поверхности ствола – 34–43 %. Этот вывод указывает на эффективность придания стволам буронабивных свай длиной до 5 м даже незначительной конусности в пределах 1,5°... 3,0°.

2. Полученные результаты могут быть использованы для разработки методики расчёта несущей способности буронабивных конических свай, а также дают основания на дальнейшее про-

должение исследований работы рассматриваемой конструкции в составе ленточных свайных фундаментов и фундаментов из кустов свай.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дмоховский В.К. Курс оснований и фундаментов. Учебное пособие. М-Л.: Государственное издательство, 1927. 357 с.
2. Соколов Н.М. Руководство по изготовлению набивных частотрамбованных свай. М.: Госстройиздат, 1956. 48 с.
3. Дорошкевич Н.М., Клейн Г.К., Смиренин П.П. Основания и фундаменты. Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1972. 256 с.
4. Веселов В.А. Проектирование оснований и фундаментов. Учебное пособие. М.: Стройиздат, 1978. 215 с.
5. Денисов О.Г. Основания и фундаменты промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1968. 375 с.
6. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1981. 319 с.
7. Тетиор А.Н. Прогрессивные конструкции фундаментов для Урала и Тюменской области. Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1971. 197 с.
8. Мангушев Р.А., Ершов А.В., Осокин А.И. Современные свайные технологии. Учебное пособие. М.: Изд-во АСВ, 2010. 240 с.
9. Гнатюк В.И., Филппов К.Г. Влияние уширений ствола буронабивных свай на повышение их удельной несущей способности. Тезисы докладов научно-практической конференции «Прогрессивные конструкции фундаментов и методы производства работ по их устройству. Оренбург: Изд-во «Южный Урал», 1986. С. 51–53.
10. Коновалов П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. М.: Стройиздат, 1988. 287 с.
11. Рекомендации по применению буронабивных свай. М.: Изд-во НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 1984. 52 с.
12. Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.2.016-2011. Методические рекомендации по проектированию и устройству буронабивных свай повышенной несущей способности по грунту. М.: Изд-во Росавтодор, 1993. 49 с.
13. Глушков А.В., Хинкалин Л.А., Соколов Н.С., Глушков И.В., Сергеев С.А. Исследование работы буронабивных свай с термохимическим уширением в основании // Современные наукоемкие технологии, 2018. № 6. С. 55–61.
14. Технические рекомендации ТР 50-180-06. Проектирование и устройство свайных фундаментов, выполняемых по разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности (сваи РИТ). М.: Изд-во НИИМосстрой, 2006. 54 с.
15. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Об эффективности устройства буронабивных свай с многоступенчатыми уширениями с использованием электроразрядной технологии // Геотехника. 2016. № 2. С. 28–32.
16. Моисеев Ю.Н. Выбор рациональных технологических схем устройства набивных конических свай в выштампованном ложе // Тезисы докладов областной научно-практической конференции «Эффективные конструкции фундаментов для промышленного и гражданского строительства в грунтовых условиях Оренбургской области. Оренбург: Изд-во «Южный Урал», 1984. С. 12–13.
17. Бойко Н.В., Кадыров А.С., Харченко В.В., Щелконогов В.Н. Технология, организация и комплексная механизация свайных работ. М.: Стройиздат, 1985. 303 с.
18. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Разработка конструкций буронабивных конических свай // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 2. С. 68–72.
19. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Анализ результатов натуральных испытаний буронабивных конических свай на действие различных видов нагрузок // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 8. С. 48–54.
20. Голли А.В. Методика измерения напряжений и деформаций в грунтах. Учебное пособие. Л.: Изд-во ЛИСИ, 1984. 53 с.
21. Фремке А.В. Электрические измерения. М.: Энергия, 1973. 424 с.
22. Баранов Д.С. Руководство по применению прямого метода измерения давлений в сыпучих средах и грунтах. М.: Изд-во ЦНИИСК, 1965. 147 с.
23. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Методика подготовки тензометрических исследований работы буронабивных конических свай // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова, 2019. № 2. С. 55–61.

Информация об авторах

Рыбникова Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры гуманитарных и естественнонаучных дисциплин. E-mail: 7ura7@mail.ru. Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. Россия, 353915, Новороссийск, Мысхакское шоссе ул., д. 75.

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

Поступила в октябре 2019 г.

© Рыбникова И.А., Рыбников А.М., 2020

¹*Rybnikova I.A.*, ^{2,*}*Rybnikov A.M.*

Novorossiyskiy branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

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

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

ANALYSIS OF THE RESULTS OF TENSOMETRIC STUDIES OF NATURAL BORED CONICAL PILES

Abstract. *Four bored piles of two standard sizes with a length of 4,5 m, a diameter of heads of 0,4 and 0,6 m, a diameter of the lower end of 0,2 m with a taper angle of 1°20' and 2°40', respectively, are studied. Two different types of piles are equipped with a height of four strain gauges, and two-ten bulldozers of five on each of the diagonal opposite sides. The soils on the experimental ground are composed of solid sandy loam. According to the measurements of strain gauges and load cell, plots of the distribution of forces and stresses in sections along the pile trunk, as well as plots of contact stresses along their lateral surface are constructed. The results of the research revealed that additional forces of soil repulsion along the inclined lateral surface during its sedimentation under load are significantly involved in the bearing capacity of bored conical piles. The proportion of soil resistance, depending on the angle of taper, is 34–49 % of the total bearing capacity, the resistance of the lower end – 17–23 %, friction on the side surface of the trunk-34–43 %. These data indicate the effectiveness of giving the trunks of bored piles up to 5 m even a slight taper in the range of 1,5°...3,0°.*

Keywords: *bored pile, pile taper, bearing capacity, load cell, strain gauge, soil resistance, force plot, stress plot.*

REFERENCES

1. Dmokhovskiy V.K. Course of bases and foundations [Kurs osnovaniy i fundamentov]. Textbook-M-L.: State publishing house. 1927. 357 p. (rus)
2. Sokolov N.M. Guidelines for the production of printed customersbank piles [Rukovodstvo po izgotovleniyu nabivnykh chastotrambovannykh svay]. M.: Gosstroizdat, 1956. 48 p. (rus).
3. Doroshkevich N.M., Klein G.K., Smirenkin P.P. Bases and foundations [Osnovaniya i fundamenti]. Textbook-Moscow: Higher school, 1972. 256 p. (rus)
4. Veselov V.A. Design of bases and foundations [Proyektirovaniye osnovaniy i fundamentov]. Textbook-M.: stroizdat, 1978. 215 p. (rus)
5. Denisov O.G. Bases and foundations of industrial and civil buildings [Osnovaniya i fundamenti promyshlennykh i grazhdanskikh zdaniy]. Textbook. Moscow: Higher school, 1968.375 p. (rus)
6. Dalmatov B.I. Mechanics of soils, bases and foundations [Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenti]. Textbook for universities. Moscow: Stroizdat, 1981. 319 p. (rus)
7. Tetior A.N. Progressive designs of foundations for the Urals and Tyumen region [Progressivnyye konstruksii fundamentov dlya Urala i Tyumenskoy oblasti]. Sverzhdlovsk: Sredne-uralskoe knizhnoe publishing house, 1971. 197 p. (rus).
8. Mangushev R.A., Ershov A.V., Osokin A.I. Modern pile technologies [Sovremennyye svaynyye tekhnologii]. Textbook-M.: Publishing house DIA, 2010. 240 p. (rus)
9. Gnatyuk V.I., Filppov K.G. Influence of barrel widenings of bored piles on increase of their specific bearing capacity [Vliyaniye ushireniy stvola buronabivnykh svay na povysheniye ikh udelnoy nesushchey sposobnosti]. Abstracts of reports of scientific-practical conference "Progressive designs of the bases and methods of production of works on their device. Orenburg: publishing house "Southern Ural", 1986. Pp. 51–53. (rus).
10. Kononov P.A. Bases and foundations of reconstructed buildings [Osnovaniya i fundamenti rekonstruiruyemykh zdaniy]. M.: Stroizdat, 1988. 287 p. (rus)
11. Recommendations on the use of drill-injection piles [Rekomendatsii po primeneniyu buroinyektsionnykh svay] M.: Publishing house NIIOSP of N. M. Gersevanov, 1984. 52 p. (rus)
12. Industry road methodical document ODM 218.2.016-2011. Methodical recommendations on the design and installation of bored piles of increased bearing capacity on the ground [Metodicheskiye rekomendatsii po proyektirovaniyu i ustroystvu buronabivnykh svay povyshennoy nesushchey sposobnosti po gruntu] M.: Publishing house

Rosavtodor, 1993. 49 p. (rus)

13. Glushkov A.V., Khinkalin L.A., Sokolov N.S., Glushkov I.V., Sergeev S.A. Investigation of bored piles with thermochemical broadening in the base [Issledovaniye raboty buronabivnykh svay s termokhimicheskimi ushireniyem v osnovanii]. Modern science-intensive technologies, 2018. No. 6. Pp. 55–61. (rus)

14. Technical recommendations TR 50-180-06. Design and installation of pile foundations, performed by discharge-pulse technology for high-rise buildings (piles RIT) [Proyektirovaniye i ustroystvo svaynykh fundamentov. vypolnyayemykh po razryadno-impulsnoy tekhnologii dlya zdaniy povyshennoy etazhnosti (svai RIT)]. M.: Publishing house Niimosstroy, 2006. 54 p. (rus)

15. Sokolov N.S., Ryabinov V.M. On the efficiency of the device of bored piles with multi-seat widenings using electric discharge technology [Ob effektivnosti ustroystva buroinyetsionnykh svay s mnogomestnymi ushireniyami s ispolzovaniyem elektrorazryadnoy tekhnologii]. Geotekhnika, 2016. No. 2. Pp. 28–32. (rus)

16. Moiseev Yu.N. The choice of rational technological schemes of the device printed tapered piles in the bed of wystepovaniem. [Vybor ratsionalnykh tekhnologicheskikh skhem ustroystva nabivnykh konicheskikh svay v vyshtampovannom lozhe]. Theses of reports of regional scientifically-practical conference "Efficient design of foundations for industrial and civil construction under the soil conditions of the Orenburg region Orenburg: Publishing house "Southern Ural", 1984. Pp. 12–13. (rus).

17. Boyko N.V., Kadyrov A.S., Kharchenko

V.V., Shchelkonogov V.N. Technology, organization and complex mechanization of pile works [Tekhnologiya, organizatsiya i kompleksnaya mekhanizatsiya svaynykh работ] M.: Stroizdat, 1985. 303 p. (rus)

18. Rybnikova I.A., Rybnikov, A.M. Development of construction of bored tapered piles [Razrabotka konstrukcij buronabivnykh konicheskikh svaj]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 2. Pp. 68–72. (rus)

19. 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 naturnykh ispytaniy buronabivnykh konicheskikh svaj na dejstvie razlichnykh vidov nagruzok]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 8. Pp. 48–54. (rus)

20. Golly A.V. Methods of measurement of stress and strain in soils [Metodika izmereniya napryazheniy i deformatsiy v gruntakh]. Textbook. L.: Publishing house of LISI, 1984. 53 p. (rus)

21. France A.V. Electrical measurements [Elektricheskiye izmereniya]. Moscow: Energia, 1973. 424 p. (rus)

22. Baranov D.S. Guidelines for the use of direct pressure measurement method in bulk media and soils [Rukovodstvo po primeneniyu pryamogo metoda izmereniya davleniy v sypuchikh sredakh i gruntakh]. Moscow: Publishing house TSNIISK, 1965. 147 p. (rus)

23. Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Methods for preparation of strain-gauge tests work bored tapered piles [Metodika podgotovki tenzometricheskikh issledovaniy raboty buronabivnykh konicheskikh svaj]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 2. Pp. 55–61. (rus)

Information about the authors

Rybnikova, Irina A. Senior lecturer. E-mail: 7upa7@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Novorossiysk branch. Russia, 353915, Krasnodar region, Novorossiysk, Myshaksky highway str., 75.

Rybnikov, Aleksandr M. 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 October 2019

Для цитирования:

Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Анализ результатов тензометрических исследований работы натуральных буронабивных конических свай // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 44–55. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-44-55

For citation:

Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Analysis of the results of tensometric studies of natural bored conical piles. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 2. Pp. 44–55. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-44-55