

**ПРОЦЕССЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ:
БУРОНАБИВНАЯ СВАЯ – ГРУНТЫ ОСНОВАНИЯ**

Тугаенко Ю.Ф., Василевская Л.А., Яковлева Д.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Приведены параметры деформирования системы буронабивная свая - грунты основания, полученные при обобщении опубликованных результатов экспериментальных исследований.

Стандартная методика полевых испытаний грунтов сваями не позволяет дифференцировано определять условия их деформирования [4]. Комплексными исследованиями свай с измерениями напряжений и перемещений в разных точках ствола по глубине и давлений по подошве исследованы некоторые параметры НДС ствола сваи и грунтов основания.

В работе [1] приведены результаты исследований одиночной буронабивной сваи, изготовленной с полостью ниже подошвы с целью изучения сил трения по боковой поверхности. Вдоль сваи, в ее поперечном сечении установлены мессдозы для измерения напряжений. В этих же точках закреплены стальные струны, выведенные в обсадных трубках на поверхность к прогибомерам. Струнами измерялись перемещения участков ствола сваи в процессе ее загрузки. Испытания выполнены в лессовых просадочных грунтах природной влажности. Геологическое строение участка, ниже дна котлована и результаты измерений приведены на рис. 1.

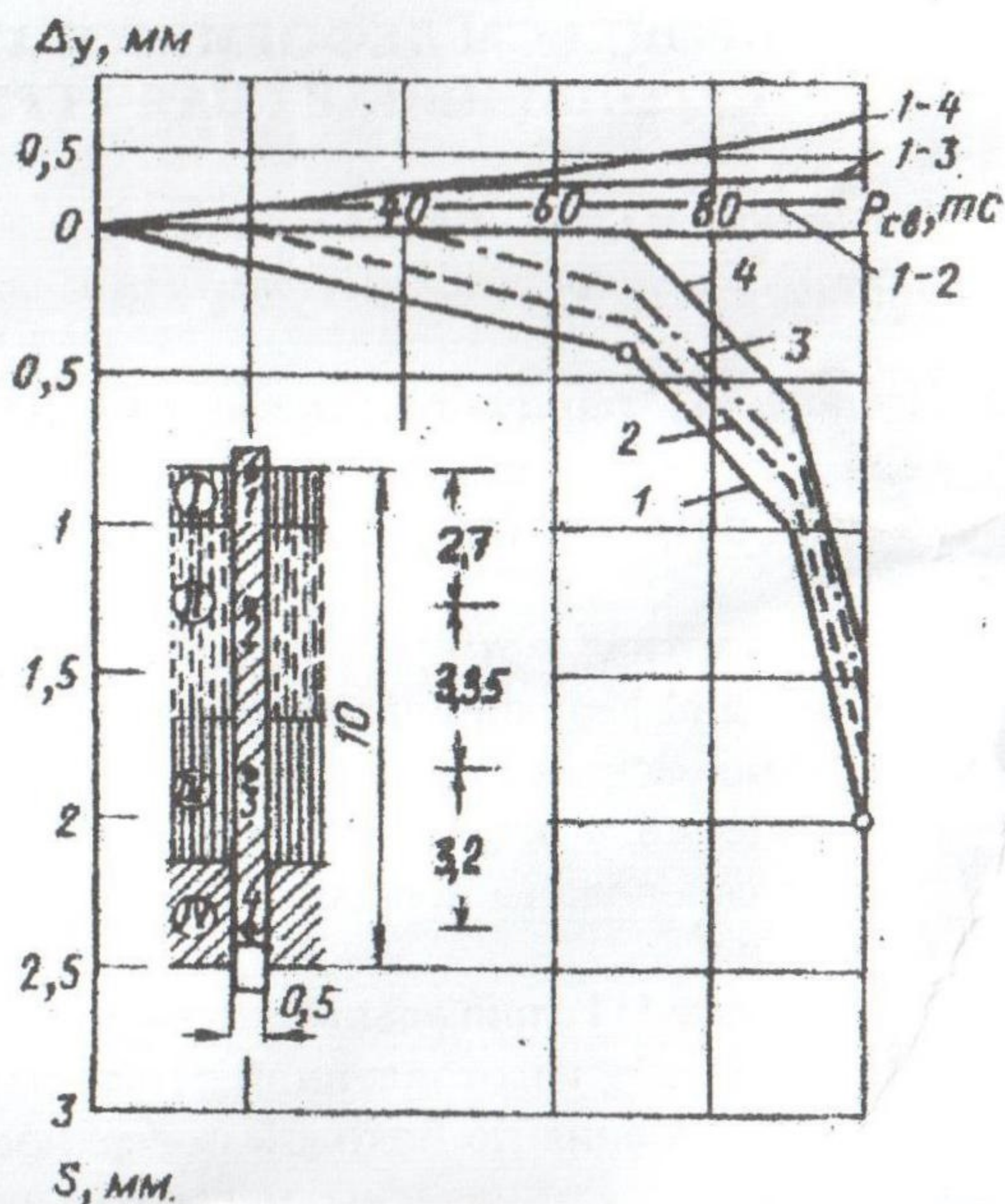
Каждая ступень нагрузки уравнивается силами трения по боковой поверхности на определенном участке длины сваи, в пределах которого происходит сжатие ствола. Длина деформируемого участка зависит от величины приложенной нагрузки и сил сопротивления трению по боковой поверхности.

По результатам измерений, приведенных на рис. 1 построены эпюры перемещений точек ствола на разной глубине сваи для промежуточных ступеней загрузки (рис.2,а), по которым определены значения длины деформируемого участка сваи l_f . График зависимости длины сжатого участка сваи от нагрузки построен до момента начала перемещения подошвы. По этому графику определены силы трения по боковой поверхности для трех участков сваи, расположенных между точками измерений по зависимости:

Рис.1. Графики $\Delta y = f(P_{св})$ и $\Delta y = f(S)$

Перемещения: 1 – головы сваи; 2-4 – промежуточных точек; 1-2...1-4 – упругое сжатие участков ствола.

I – лессовый суглинок;
 II – лесс светло-желтый;
 III – суглинок лессовый;
 IV – лесс от светло-желтого до бурого.



$$\Delta f_i = \Delta P_i / \Delta l_f \times u \quad (1)$$

где для каждого фрагмента: Δf_i – среднее значение сопротивления по боковой поверхности на участке длины сваи Δl_f ; ΔP_i – величина нагрузки; u – периметр.

При отсутствии перемещения сжатого ствола силы бокового трения распределены неравномерно. На их значение оказывает влияние вид и состояние грунтов. По результатам данного эксперимента значения сил трения определены на трех участках между точками измерений при нагрузке 70 т, которая соответствует отсутствию осадки подошвы. С началом движения сваи сопротивление по боковой поверхности возросло, достигнув максимума при осадке 1,4 мм, после чего испытание прекращено. Результаты расчетов приведены в табл. 1 и на рис. 2, в.

Распределение сил бокового трения по длине сваи

№ уч-ка	$\Delta P_i, \text{тс.}$	$l_{f_i}, \text{м.}$	$A_{f_i}, \text{м}^2$	$f_i, \text{тс/м}^2$
I	20	2,7	4,24	4,72
II	20	3,35	5,25	3,81
III	30	3,2	5,02	5,97
I; II; III	70	9,25	14,53	4,82

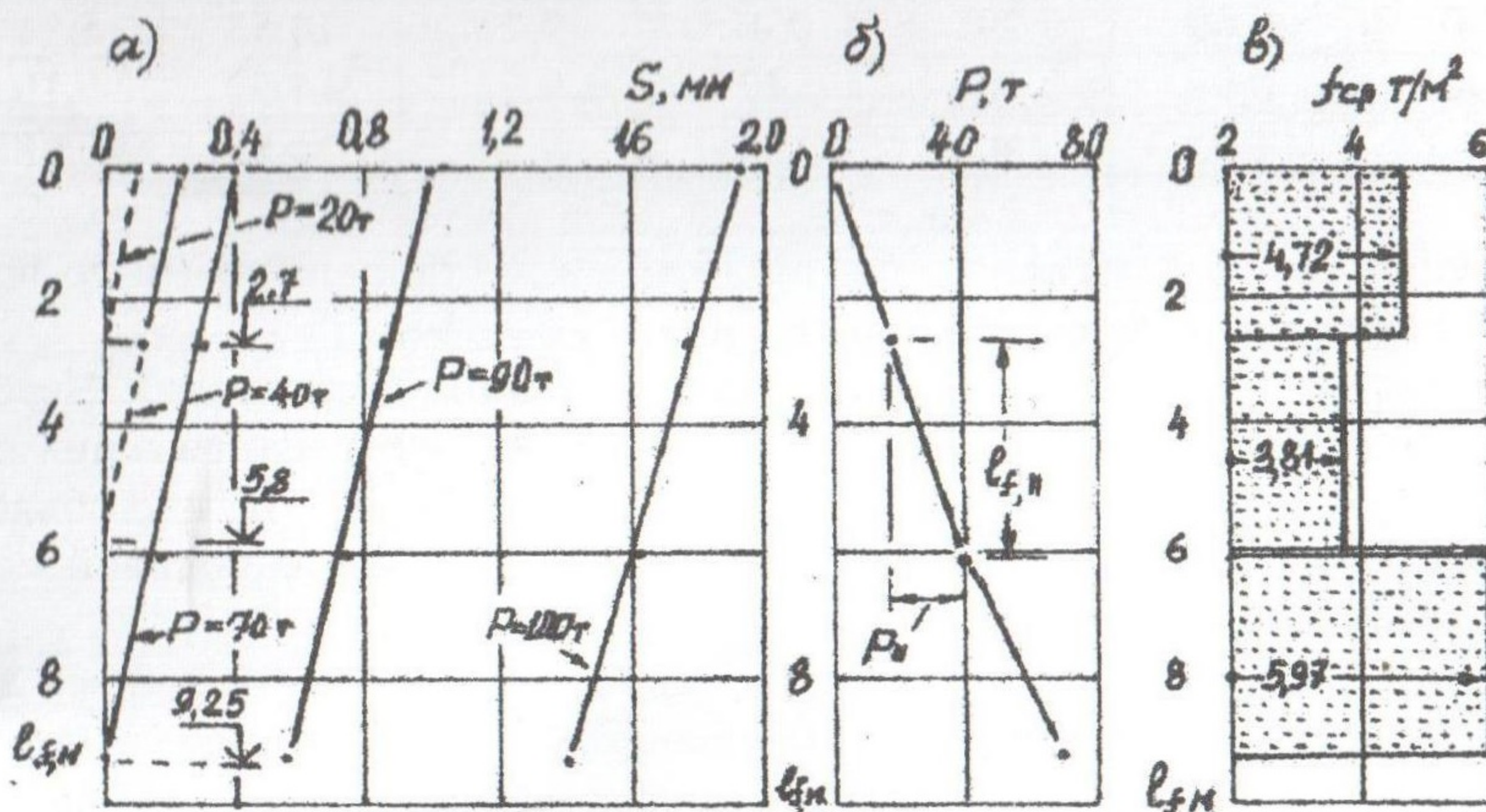


Рис.2. Напряженно-деформированное состояние ствола сваи при росте нагрузки: а) эпюры деформаций ствола; б) зависимость длины сжатого участка от нагрузки; в) силы трения по длине сваи при нагрузке 70 тс.

Результаты определений среднего значения сил бокового трения в пределах длины сжатого участка сваи приведены в табл. 2.

Часть приложенной нагрузки, превышающей предельные значения сил бокового трения, передается подошвой сваи на грунт основания. Следствием его деформирования является перемещение сжатого ствола сваи относительно окружающего грунта.

При его перемещении происходит перераспределение усилий воспринимаемых грунтами: - снижения сил трения по боковой поверхности и повышение давлений на подошву. Такие данные получены по результатам исследований НДС трех буронабивных свай диаметром 0,96 м, длиной 18 м. [3].

Наращение среднего значения сил трения по боковой поверхности
с ростом нагрузки на сваю

Р, т.с.	S _r , мм	S _п , мм	$\Delta S = S_r - S_{п}$, мм	l _ф , м	A _ф , м ²	f _{ср} , тс/м ²
20	0,1	-	0,1	2,7	4,24	4,72
40	0,24	-	0,24	5,8	9,11	4,39
70	0,39	0	0,39	9,25	14,53	4,82
80	0,69	0,29	0,4	9,25	14,53	5,51
90	0,98	0,56	0,42	9,25	14,53	6,19
100	1,95	1,4	0,55	9,25	14,53	6,88

Напряжения измерялись тензоприборами, установленными по подошве свай и в трех сечениях на глубине 5, 10 и 15 м.

Испытания выполнены в условиях локального замачивания. Через семь суток после начала подачи воды зафиксированы напряжения на третьем уровне измерений и по подошве свай. Этот факт можно объяснить следствием проявления негативных сил трения по боковой поверхности на верхнем участке свай.

Давление по подошве и усилие в третьем уровне не изменились до и после приложения нагрузки, равной 1440 кН. Ее величина уравновешена силами бокового трения на участке длины ствола до глубины 10 м.

Нагрузка 3170 кН оказалась предельной, при которой не зафиксировано перемещение подошвы свай. Ее величина уравновешена силами бокового трения и структурной прочностью грунта по подошве. За значение структурной прочности можно принять давление по подошве, при котором отсутствует движение ствола. Его величина составила 0,4 МПа, близкая по значению вертикальному напряжению от собственного веса грунта.

Очередной ступенью нагрузки, равной 250 кН вызвано развитие деформаций в основании подошвы свай. В процессе протекания осадки («срыва») наблюдалось снижение трения по боковой поверхности, что явилось следствием повышения давления по подошве свай. Данные расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Средние значения сопротивления по боковой поверхности и подошве свай при нагрузках: равной и превышающей предельную

P, кН	R, кПа	A _R , м ²	P _R , кН	P _f , кН	A _f , м ²	f, кПа
1440	-	-	-	1440	30,1	47,8
3170	400	0,72	288	2882	54,2	53,2
3420	1160	0,72	835	2585	54,2	47,7

Примечания: P - нагрузка на сваю; R и f – давление по подошве и сопротивление по боковой поверхности; A_R и A_f - площадь подошвы и боковой поверхности; P_R и P_f - нагрузка на подошву и боковую поверхность.

Сжатие стержня ствола под действием приложенной нагрузки состоит из упругой и остаточной составляющих. Их количественные значения определены специальными исследованиями, выполненными на площадке Волгодонского завода тяжелого машиностроения [2]. Испытаны три буронабивные сваи диаметром 600 мм с уширенными пятками диаметром 1600 мм. Одна свая длиной 12 м, две других – 22 м. В процессе исследований измерены перемещения головы и подошвы свай. По результатам измерений установлено наличие упругой и остаточной составляющих от общей величины сжатия ствола. Результаты полученных исследований приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметры деформирования ствола свай

№ свай	l, м	P _{lim} , МН	σ _{ср} , МПа	Сжатие ствола, мм.			E·10 ⁴ МПа
				ΔS	ΔS _y	ΔS _o	
14	12	1,36	2,4	2,42	1,36	1,06	2,12
17	22	2,72	4,8	7,82	5,66	2,16	1,96
18	22	2,72	4,8	4,8	3,92	0,96	2,69

Примечания: l – длина свай; P_{lim} – предельная нагрузка; ΔS, ΔS_y и ΔS_o – сжатие ствола, его упругая и остаточная составляющие; E – модуль упругости бетона свай.

По величине упругой составляющей деформации определены значения модуля упругости бетона свай. Результаты расчетов приведены в табл. 4. Полученные данные отличаются от приведенных в работе [2], где учтена общая величина сжатия ствола.

Выводы

1. В процессе роста нагрузки на буронабивную сваю наблюдается два этапа деформирования системы свая - грунты основания.
2. На первом этапе происходит последовательное сжатие стержня сваи, без ее перемещения относительно окружающего грунта.
3. Длина сжатого участка увеличивается с ростом нагрузки по мере преодоления сил трения по боковой поверхности.
4. На втором этапе происходит перемещение ствола вследствие деформирования грунта ниже подошвы сваи после преодоления сил трения по боковой поверхности.
5. В стержне сваи наблюдаются упругие и остаточные деформации.
6. Модуль упругости для каждой сваи имеет свои значения, которые можно определить по результатам испытаний.

Литература

1. Трофименков Ю.Г., Бахолдин Б.В., Швец В.Б., Мариупольский Л.Г., Работников А.И., Алексеев А.И., Лобов О.И. Совершенствование методов определения несущей способности свай// Труды к VIII Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. – М. – Стройиздат. – 1973.- С. 150-161.
2. Григорян А.А., Хабибуллин И.И. Несущая способность буронабивных свай на площадках строительства Волгодонского завода тяжелого машиностроения// Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1977. - № 2 – С. 13-16.
3. Григорян А.А., Хабибуллин И.И. Экспериментальное исследование распределения напряжений в буронабивных сваях значительных размеров// Основания и фундаменты и механика грунтов. – 1980. - № 3 – С. 11-13.
4. Грунты. Методы польових випробувань палями// ДСТУ Б.В.2.1-1-95 (ГОСТ 5686-95). –К.: Укрархбудінформ. – 1997.- 57 с.