

УДК 624.154:624.075.23

Соколов Л.Я. – младший научный сотрудник

E-mail: l.sokolov@mail.ru

ГУП институт «БашНИИстрой»

Адрес организации: 450064, Россия, г. Уфа, ул. Конституции, д. 3

Рациональная форма односвайного фундамента под колонны промышленных зданий и сооружений

Аннотация

На основании анализа существующих данных и результатов натурных экспериментов сделан вывод о том, что в качестве односвайных фундаментов под колонны каркасных зданий целесообразно использовать конструкцию, состоящую из штампонабивной сваи пирамидальной формы (верхняя часть) и забивной призматической сваи (нижняя часть). Такая комбинированная свая имеет форму ствола, наилучшим образом приспособленную к восприятию совместно действующих на колонну вертикальной и горизонтальной нагрузок и обладающую при этом высокой эффективностью.

Ключевые слова: пирамидальная штампонабивная свая, односвайный фундамент, комбинированная свая, горизонтальная нагрузка, график «нагрузка-перемещение».

Наиболее распространенными в настоящее время свайными фундаментами являются фундаменты в виде кустов из сплошных призматических свай. Однако массивный ростверк, объединяющий головы свай в единое целое, в ряде случаев значительно снижает эффективность их применения из-за низкой удельной несущей способности фундамента в целом. В последние десятилетия разработаны, исследованы и успешно внедрены сваи нестандартных конструкций, в том числе с переменным по длине поперечным сечением (пирамидальные, конусные и др.), сваи-оболочки, полые круглые сваи и различные комбинации этих конструкций (комбинированные сваи). При этом установлена рациональная область их применения – односвайные фундаменты для промышленных и гражданских зданий каркасного типа. Отсутствие ростверка, минимум земляных и опалубочных работ, меньшая трудоемкость возведения и вместе с тем достаточно высокая несущая способность делают их более эффективными по сравнению с кустовыми фундаментами и более предпочтительными при проектировании каркасных зданий и сооружений с нагрузками на фундаменты до 1200-1500 кН.

На фундаменты колонн каркасных зданий и сооружений, кроме вертикальной нагрузки, действуют горизонтальная нагрузка и изгибающий момент. В условиях совместного действия вертикальной, горизонтальной и моментной нагрузок наиболее эффективными для устройства фундаментов являются набивные сваи, бетонируемые в выштампованной скважине пирамидальной формы. Эти сваи («штампонабивные»), обладая всеми преимуществами набивных свай (дешевый товарный бетон, возможность рационального армирования из условий только технологических нагрузок, отсутствие срубки голов недогруженных свай и др.), в то же время по несущей способности на 1 м³ материала, затраченного на их изготовление, близки к забивным, так как работают в уплотненном грунте, исключая тем самым основной недостаток буронабивных свай – низкую удельную несущую способность.

Штампонабивные сваи пирамидальной формы, в отличие от свай постоянного по длине сечения, значительно эффективнее работают на действие как вертикальной, так и горизонтальной нагрузки, что обусловлено конструкцией ствола сваи и особенностью технологии ее изготовления.

Уменьшение размеров поперечного сечения сваи сверху вниз увеличивает ее сопротивление вертикальной нагрузке, так как ее наклонные грани создают дополнительное распорное сопротивление по грунту, а уменьшение объема при этом приводит к увеличению удельной несущей способности сваи.

Факт увеличения удельной несущей способности пирамидальных свай при их работе на вертикальную нагрузку, по сравнению с призматическими, подтвержден

многочисленными, преимущественно натурными, экспериментами. Из табл. 1 видно, что сваи с уменьшающимся с глубиной поперечным сечением при действии вертикальной нагрузки работают эффективнее свай с постоянным по длине сечением, в частности, пирамидальные сваи – значительно эффективнее, чем широко применяющиеся в настоящее время призматические сваи. Увеличение удельной несущей способности вертикально нагруженных пирамидальных свай в 1,5-2,5 раза (табл. 1) указывает на возможность практически полного использования прочности материала, значительное недоиспользование которого в сваях постоянного по длине сечения является существенным недостатком.

Увеличение размеров поперечного сечения сваи снизу вверх увеличивает ее сопротивление горизонтальной нагрузке, так как верхний участок, наиболее активно сопротивляющийся при горизонтальном нагружении, приобретает большую жесткость на изгиб и большую площадь контакта боковой поверхности с грунтом при большем радиусе уплотненной зоны в направлении действия горизонтальной силы. Уменьшение с глубиной жесткости на изгиб сваи при такой форме ее ствола хорошо согласуется с формой эпюры изгибающих моментов: максимальный момент, возникающий в верхней половине сваи, с глубиной уменьшается до нуля.

Существенным также является то обстоятельство, что при устройстве пирамидальных свай (как забивных, так и набивных) обеспечивается полный контакт боковой поверхности сваи с грунтом по всей ее длине.

Практически одинаково работая под нагрузкой, забивные и штампонабивные пирамидальные сваи, при рассмотрении всего комплекса работ, связанных с использованием их в качестве фундаментов зданий и сооружений, технологией изготовления, расходом материальных и трудовых ресурсов, рациональной областью применения и т.д., имеют друг от друга существенные отличия.

Штампонабивные пирамидальные сваи, несколько уступая в эффективности при работе под нагрузкой забивным сваям аналогичной конструкции, имеют по сравнению с ними ряд преимуществ, два из которых следующие:

- возможность устройства головы сваи с развитым поперечным сечением, что позволяет получить большую несущую способность на вертикальную и горизонтальную нагрузки и формировать в верхней части сваи узел сопряжения с колонной, то есть использовать эти сваи в качестве односвайных фундаментов под колонны зданий и сооружений;

- возможность устройства комбинированной сваи путем забивки в дно скважины перед ее бетонированием призматической сваи или другого забивного элемента, что позволяет значительно увеличить несущую способность исходной штампонабивной сваи.

Область применения пирамидальных штампонабивных свай распространяется на глинистые грунты от пластичной до твердой консистенции. Однако, в грунтах с $I_L < 0,2$ такие фундаменты применять не рекомендуется ввиду сложности забивки штамп-скважинообразователя, а в грунтах с $I_L > 0,6$ – вследствие неустойчивости стенок скважины и ее заплывания. В то же время, есть предложения [1, 2]: в первом случае – бурить лидерные скважины перед выштамповкой пирамидальной скважины, а во втором – погружать штамп-скважинообразователь с металлическим или железобетонным кожухом пирамидальной формы, оставляемым в скважине. Опыт устройства штампонабивных свай с применением извлекаемых из грунта инвентарных штампов обеспечивает высокую точность расположения свай в плане, достигаемую путем выверки и выправления штампа в процессе его забивки сваебойным агрегатом. Благодаря большой поперечной жесткости штампа, эти операции выполнимы.

Таким образом, высокая эффективность работы пирамидальных штампонабивных свай обусловлена формой ствола сваи и уменьшающимся с глубиной поперечным сечением, что способствует формированию обширной зоны уплотненного грунта вокруг сваи и наилучшим образом соответствует характеру передачи нагрузки от сваи основанию, как при вертикальном, так и горизонтальном нагружении. Кроме того, благодаря конструктивным особенностям и особенностям технологии их возведения, они экономичны и являются наилучшим инженерным решением односвайных фундаментов зданий каркасного типа. Этот вывод подтвержден результатами многолетних исследований свайных конструкций на действие вертикальных, горизонтальных и моментных нагрузок и большим опытом возведения ряда промышленных объектов в г. Уфе и других городах [1, 2].

Таблица 1

**Результаты испытаний пирамидальных свай на вертикальную нагрузку
в сравнении с призматическими сваями**

Характеристика грунтов	Геометрические параметры пирамидальных свай			Несущая способность относительно призматических свай		Источник
	Длина, м	Размеры оснований, см	Угол наклона граней	по испытанию	удельная	
Связные грунты: $I_L = 0,2-0,4$	–	–	–	2,2	–	[3]
Суглинки с прослойками песка	–	–	–	~1,0	~3,0	
Плотные грунты с поверхности	8,0	$\frac{46 \times 46}{20 \times 20}$	0°56'	1,5-3,0	–	
Твердые суглинки	3,4	$\frac{70 \times 70}{10 \times 10}$	5°03'	–	2,00	
Суглинок текучепласт. до гл. 2,0 м, с гл. 2 м до 6,6 м – полутв. консист., ниже – глины тв. консистенции.	8,0	$\frac{46 \times 46}{20 \times 20}$	0°56'	1,36	1,12	[4]
Суглинок пластичный до глубины 3,8 м, ниже – суглинок твердой консистенции	6,0	$\frac{40 \times 40}{20 \times 20}$	0°57'	1,64	1,78	
Суглинок тугопластичный до глубины 2,4 м, с глубины 2,4 м до 4,5 м – сугл. мягкопласт. с гл. 5,5 м – сугл. тугопластичный	5,5	$\frac{35 \times 25}{15 \times 25}$	1°03'	1,48	2,37	
Сугл. до гл. 3,5 м тугопл., подстил. прослойкой тверд. супесей мощн. 0,6 м, ниже – сугл. тверд. консист.	5,5	$\frac{40 \times 40}{20 \times 20}$	1°03'	2,00	1,76	
Суглинок тугопластичный до глубины 6,5 м, с глубины 3,8 м – с галькой	4,6	$\frac{40 \times 40}{20 \times 20}$	1°15'	1,33	1,45	
Суглинок текучепластичный до глубины 1,9 м, с глубины 1,9 м до 3,2 м – сугл. мягкопластичный, ниже – супесь пластичная	4,5	$\frac{40 \times 40}{20 \times 20}$	1°16'	1,25	1,12	[5]
Верхнечетвертичные аллювиальные отложения глин мощностью 8,5-9,0 м: $\rho = 1,74-1,78 \text{ г/см}^3$; $e = 1,05-1,08$; $c = 0,036-0,038 \text{ МПа}$; $\varphi = 17-18^\circ$; $E = 7 \text{ МПа}$.	1,42	$\frac{11,6 \times 11,6}{1,6 \times 1,6}$	2°01'	2,00	2,44	
	0,99	$\frac{12,4 \times 12,4}{5,5 \times 5,5}$	2°00'	1,85	2,00	
	0,53	$\frac{14,8 \times 14,8}{11,2 \times 11,2}$	2°04'	2,22	2,24	
	0,46	$\frac{19,4 \times 19,4}{5,4 \times 5,4}$	7°58'	1,80	2,61	
Водонасыщенные мелкие пески средней плотности: $\rho = 1,77 \text{ г/см}^3$; $c = 0,002 \text{ МПа}$; $\varphi = 23^\circ$; $E = 15 \text{ МПа}$.	4,5	$\frac{70 \times 70}{20 \times 20}$	3°11'	3,35	2,00	[6]
Суглинки: $\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$, $I_L = 0,10-0,35$	3,0	$\frac{60 \times 60}{10 \times 10}$	4°46'	0,66	2,07	[7]
	4,0	$\frac{80 \times 80}{10 \times 10}$	5°00'	1,42	2,00	

Однако несущая способность таких свай в ряде случаев оказывается недостаточной, так как размеры штампабивной сваи ограничены технологическими возможностями сваепогружающего оборудования. Для повышения несущей способности односвайных фундаментов при использовании одного и того же штампа для выштамповки скважин одним и тем же молотом, а также с целью расширения области применения пирамидальных штампабивных свай по грунтам и нагрузкам, в НИИпромстрое разработана [2] конструкция односвайного фундамента (в дальнейшем «комбинированная свая»), состоящего из пирамидальной штампабивной сваи и забивной призматической сваи, погружаемой в скважину до укладки в нее бетонной смеси (рис. 1).

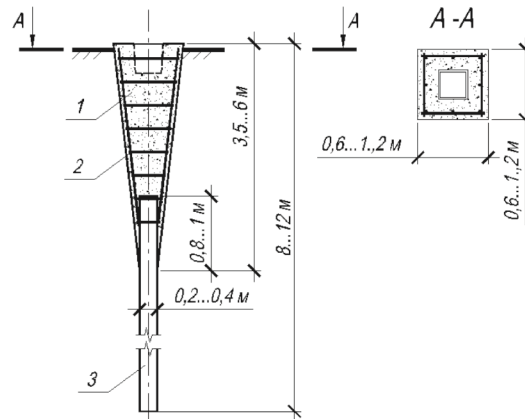


Рис. 1. Комбинированный односвайный фундамент:

1 – штампоабивная свая; 2 – арматурный каркас; 3 – призматическая свая

Для выяснения степени увеличения несущей способности штампоабивной сваи при дополнении ее забивной призматической сваем, установлении влияния забивной части комбинированной сваи на сопротивление горизонтальной нагрузке ее пирамидальной части и характера перемещения в грунте ствола комбинированной сваи при действии горизонтальной нагрузки выполнены натурные эксперименты. Испытания комбинированных свай и соответствующих пирамидальных штампоабивных свай проведены на трех опытных площадках:

- площадка I – сложена супесями тугопластичной консистенции со следующими физико-механическими характеристиками: $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$; $W = 0,27$; $c = 0,022 \text{ МПа}$; $\varphi = 18^\circ$; $E = 9 \text{ МПа}$; $I_L = 0,39$;

- площадка II – характеризуется залеганием пластов суглинка с большим диапазоном изменения по глубине показателя текучести: $\rho = 1,65-1,89 \text{ т/м}^3$; $c = 0,023-0,049 \text{ МПа}$; $\varphi = 18-20^\circ$; $E = 9-14 \text{ МПа}$; $I_L = 0,0-0,87$;

- площадка III – сложена глинистыми грунтами тугопластичной консистенции: $\rho = 1,95 \text{ т/м}^3$; $c = 0,021 \text{ МПа}$; $\varphi = 18^\circ$; $E = 10 \text{ МПа}$.

Условия экспериментов и методика испытаний изложены в работах [2, 8, 9]. Ниже представлены результаты статических испытаний опытных свай (рис. 2-3) и дан их сопоставительный анализ. Характеристики опытных свай и величины их предельных сопротивлений приведены в табл. 2. При этом за предельное сопротивление свай вертикальной нагрузке принята нагрузка, соответствующая осадке 20 мм, а в случае горизонтальной нагрузки – нагрузка при перемещении сваи в уровне поверхности грунта 10 мм.

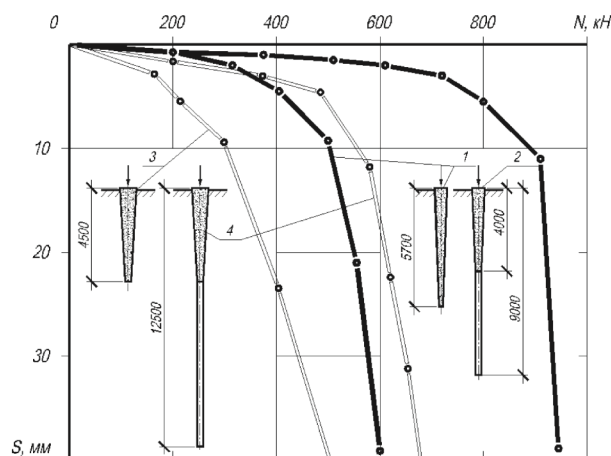


Рис. 2. Результаты испытаний опытных свай на вертикальную нагрузку:

1, 3 и 2, 4 – штампоабивные и соответствующие комбинированные сваи (табл. 2)

Сравнение зависимостей «нагрузка-осадка» комбинированных и соответствующих штампабивных свай (рис. 2) показывает, что при их осадке в пределах 10-30 мм сопротивление комбинированной сваи превосходит сопротивление штампабивной, соответственно, на 85-50 % (для свай № 3 и № 4) и на 80-60 % (для свай № 1 и № 2). При этом следует отметить различный характер взаимодействия свай с основанием: относительное приращение сопротивления с увеличением осадки у штампабивных свай больше, чем у соответствующих комбинированных, – кривые сближаются.

Таблица 2

Сопоставление результатов испытаний

Опытная площадка	№ сваи*	Вид сваи	Размеры сваи		Объем сваи, м ³	Предельное сопротивление сваи, кН	
			Сечение, см	Длина, м		вертикальной нагрузке	горизонтальной нагрузке
I	1	Штампабивная	$\frac{60 \times 60}{20 \times 20}$	5,7	0,91	530	96
	2	Комбинированная	$\frac{(60 \times 60)/(20 \times 20)}{30 \times 30}$	9,0	1,26	910	103
II	3	Штампабивная	$\frac{75 \times 80}{30 \times 30}$	4,5	1,55	380	–
	4	Комбинированная	$\frac{(75 \times 80)/(30 \times 30)}{30 \times 30}$	12,5	2,36	586	–
III	5	Штамп-скважинообразователь	$\frac{100 \times 120}{30 \times 30}$	3,5	2,47	–	133
	6	Комбинированная	$\frac{(100 \times 120)/(30 \times 30)}{30 \times 30}$	10,7	3,11	–	160

* Номера свай соответствуют номерам кривых на рис. 2 и 3

Значительно отличающиеся величины несущих способностей свай, испытанных на площадках I и II, обусловлены различием основных характеристик грунтов этих площадок. С увеличением объемов комбинированных свай № 2 и № 4, по сравнению с исходными штампабивными сваями, соответственно в 1,4 и 1,5 раза (табл. 2) их предельное сопротивление возросло в 1,7 и 1,5 раза. То есть удельная несущая способность комбинированной сваи № 2 увеличилась более чем в 1,2 раза, а у комбинированной сваи № 4 осталась той же, что и у соответствующей штампабивной сваи. Вероятнее всего, это связано также с различием грунтовых условий.

На рис. 3 представлены зависимости «нагрузка-перемещение» пирамидальной сваи (штампа-скважинообразователя) и комбинированной сваи. Как видно из графиков, в начальный период испытания при приложении небольших по величине нагрузок (до 120 кН) и малых перемещениях (до 8 мм), их кривые «нагрузка-перемещение» практически совпадают (рис. 3, сваи № 5 и № 6). По мере увеличения нагрузки, а следовательно, и возрастания перемещения, реактивное сопротивление системы «комбинированная свая – основание» увеличивается: при перемещении головы комбинированной сваи в уровне поверхности грунта на величину с 10 до 20 мм превышение ее сопротивления, по сравнению с сопротивлением штампа-скважинообразователя, составляет 8-20 %. Учитывая экспериментально установленный факт, что штамп-скважинообразователь, благодаря большей жесткости на изгиб и работе в более плотном грунте, имеет большее сопротивление горизонтальной нагрузке, чем изготовленная после его извлечения из скважины штампабивная свая, разница сопротивлений комбинированной сваи № 6 и соответствующей штампабивной сваи может быть больше с самого начала нагружения.

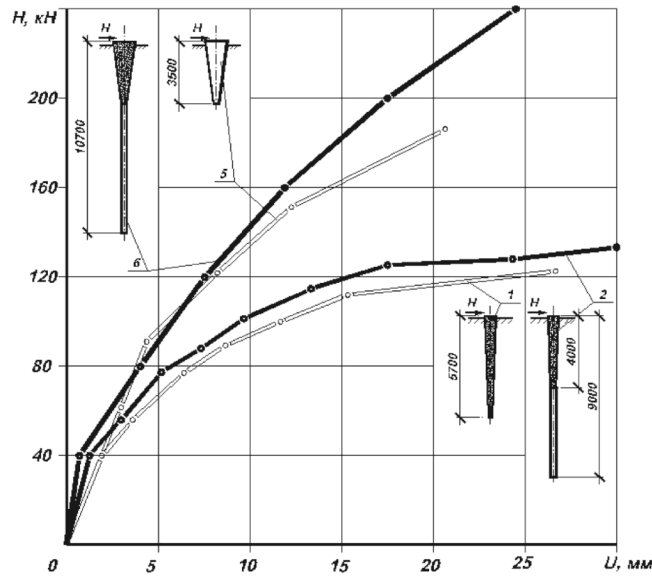


Рис. 3. Результаты испытаний опытных свай на горизонтальную нагрузку
1, 2 и 5, 6 – опытные сваи (табл. 2)

Рост сопротивления комбинированной сваи горизонтальной нагрузке объясняется включением в работу забивной сваи, о чем свидетельствует увеличение расстояния от верха сваи до «точки нулевых перемещений». При испытании пирамидальной сваи (штампа-скважинообразователя) это расстояние при максимальной нагрузке равнялось 2,4 м (рис. 4 а). При испытании комбинированной сваи «точка нулевых перемещений» сместилась в область сопряжения забивной сваи со штампабивной, то есть на глубину до 3,5 м (рис. 4 б). При этом, голова забивной сваи практически не претерпевает горизонтальных перемещений, и лишь при максимальной нагрузке несколько увеличивается перемещение нижнего конца штампабивной части сваи, а, следовательно, и головы забивной сваи. Однако это перемещение, как показали эксперименты [9], невелико – менее 2 мм.

Зависимости «нагрузка-перемещение» свай № 5 и № 6 (рис. 3) характерны для «абсолютно» жестких штампабивных свай. В том случае, если штампабивная свая имеет конечную жесткость на изгиб, увеличение сопротивления соответствующей комбинированной сваи горизонтальной нагрузке меньше. Так, опытная пирамидальная штампабивная свая (рис. 3, поз. 1) обладает значительно меньшей жесткостью на изгиб, так как имеет меньшие размеры поперечного сечения и большую длину.

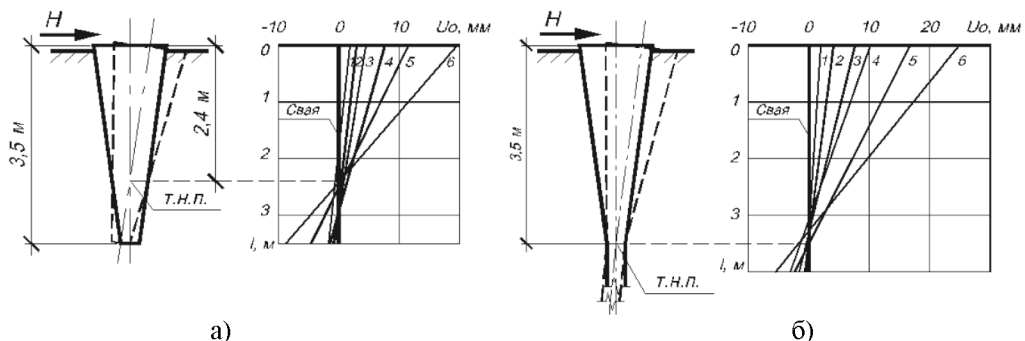


Рис. 4. Характер перемещения опытных свай в грунте при действии горизонтальной нагрузки:

- а – схема поворота штампабивной сваи (свая № 5):
1...6 – при нагрузке соответственно 30, 60, 90, 120, 150, 180 кН;
- б – схема поворота штампабивной части комбинированной сваи (свая № 6):
1...6 – при нагрузке соответственно 80, 120, 160, 200, 240 кН;
- т.н.п. – «точка нулевых перемещений»

Здесь сопротивление горизонтально нагруженной комбинированной сваи с верхним пирамидальным участком таких же размеров увеличилось по сравнению с пирамидальной штампабивной сваем на 8-10 % (рис. 3, кривые 3 и 4) на всех этапах нагружения без заметного возрастания с увеличением нагрузки вплоть до потери несущей способности. То есть при работе штампабивной сваи по «гибкой» схеме, добавление к ней забивной сваи (для получения требуемой несущей способности на вертикальную нагрузку) к существенному увеличению сопротивления комбинированной конструкции горизонтальной нагрузке не приводит.

Выводы:

1. Высокая эффективность пирамидальных свай обусловлена формой ствола сваи, позволяющей в полной мере использовать несущую способность системы «свая-основание» одновременно по материалу сваи и по грунту основания при работе как на вертикальную, так и на горизонтальную нагрузки. При этом штампабивные сваи пирамидальной формы имеют лучшие технико-экономические показатели (благодаря конструктивным особенностям и особенностям технологии их возведения). Функционально они наиболее приспособлены для использования их в качестве односвайных фундаментов промышленных зданий и сооружений.

2. Применение комбинированной конструкции односвайного фундамента, представляющего собой штампабивную сваю пирамидальной формы, сопряженную с забивной призматической сваем, может существенно расширить область применения пирамидальных штампабивных свай по нагрузкам и грунтовым условиям без увеличения мощности сваепогружающего оборудования.

3. Наличие забивной сваи в основании пирамидальной штампабивной сваи увеличивает ее сопротивление вертикальной нагрузке на 60-80 % и (при необходимости) более, поэтому увеличивать несущую способность штампабивной сваи на вертикальную нагрузку целесообразнее не применением штампа больших размеров, а дополнением ее забивной сваем, забивка которой с отметки «минус» 3-6 м может существенно повысить несущую способность комбинированного фундамента.

4. Увеличение сопротивления комбинированной сваи горизонтальной нагрузке по сравнению с сопротивлением соответствующей штампабивной сваи зависит от соотношения длин ее частей (штампабивной и забивной) и жесткости на изгиб штампабивной части. По результатам экспериментов это увеличение составило 8-20 %. Большее сопротивление комбинированной сваи, по сравнению с сопротивлением соответствующей штампабивной, связано с включением в работу забивной сваи, в результате чего взаимодействие системы «свая-основание» распространяется на большую глубину.

5. При работе на горизонтальную нагрузку верхняя (пирамидальная) часть комбинированной сваи деформируется нелинейно, а голова забивной сваи (место сопряжения ее с пирамидальной частью) имеет весьма малое перемещение и ее деформирование может быть принято линейным.

Список библиографических ссылок

1. Зиязов Я.Ш., Готман А.Л. Опыт применения односвайных фундаментов под колонны. // «Энергетическое строительство», 1978, № 2. – С.75-77.
2. Готман А., Балявин Г. Опыт применения комбинированных штампабивных свай под колонны цеха металлоконструкций. // Реф. информ. Сер. II. Организация и технология строительного производства, 1979, вып. 9. – С. 5-7.
3. Лапшин Ф.К. К оценке эффективности пирамидальных свай. / В кн. «Геотехника Поволжья». – Саратов, 1980. – С. 66-70.
4. Миткина Г.В., Файзуллин И.Ш. Изучение влияния некоторых факторов на несущую способность пирамидальных свай // Труды НИИпромстроя. – Уфа, 1976, вып. 18. – С. 24-29.
5. Чичкин А.Ф., Будников И.В. Некоторые вопросы исследования работы свай различной формы. / В кн.: «Геотехника Поволжья». – Саратов, 1980. – С. 42-46.

6. Пивень В.Г., Бижанов К.С., Тулеубаев А.А., Кожабеков Р.Н. Исследование и внедрение фундаментов из пирамидальных свай в водонасыщенных песках различной плотности // Ускорение научно-технического прогресса в фундаментостроении: Сб. научн. трудов в 2 т. / Под общ. ред. В.А. Ильичева. Том 2. Методы проектирования эффективных конструкций оснований и фундаментов. НИИ оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова. – М.: Стройиздат, 1987. – С. 10-12.
7. Баходдин Б.В., Колесников Л.И., Шикалович Н.С., Ивашкевич В.Ю. Рациональные направления в повышении эффективного свайного фундаментостроения в районах Восточной Сибири и результаты их экспериментального обоснования // Ускорение научно-технического прогресса в фундаментостроении: Сб. научн. трудов в 2 т. / Под общ. ред. В.А. Ильичева. Том 1. Новейшие методы исследования строительных свойств грунтов, прогрессивные способы возведения фундаментов и устройства оснований. – М.: Стройиздат, 1987. – С. 143-145.
8. Готман А.Л., Соколов Л.Я. Экспериментальное обоснование технической целесообразности и эффективности комбинированного односвайного фундамента. – Инновационные конструкции и технологии в фундаментостроении и геотехнике. Материалы научно-технич. конф. – М.: НОУ ВПО «ИНЭП»: Изд-во «Палеотип», 2013. – С. 92-97
9. Готман А.Л., Соколов Л.Я. Исследования работы комбинированных свай переменного сечения на горизонтальную нагрузку и их расчет // Известия вузов. Строительство, 2013, № 6. – С. 105-114.

Sokolov L.Ya. – junior researcher

E-mail: l.sokolov@mail.ru

Scientific Research Institute «BashNIStroy»

The organization address: 450064, Russia, Ufa, Konstitucii st., 3

Rational form of the one-pile foundation under columns of industrial buildings and constructions

Resume

Based on existing data and results of in-situ experiments, the conclusion was drawn that construction consisting of driven cast-in-place pile of pyramidal form (upper part) and driven prismatic pile (bottom part) should expediently be used as one-pile foundation under the columns of framed buildings.

Increase of pile cross-sectional dimensions from top to bottom increases its lateral load resistance, as the pile upper part with the greater lateral load resistance has the most bending stiffness and the most area of the lateral surface contact with soil with the most radius of compacted zone in direction of lateral force application. Decrease of pile bending stiffness with the depth of its penetration with such form of the pile shaft is in good agreement with the diagram of bending moments.

Numerous, mostly in-situ experiments showed increase of the specific pyramidal piles bearing capacity while vertical load behavior compared to prismatic piles.

Such composite pile has the form of a shaft that accepts the combined column vertical and lateral loads in the best way and is of a high efficiency.

Keywords: pyramidal driven cast-in-place pile, one-pile foundation, composite pile, lateral load, diagram «load-displacement».

Reference list

1. Ziyazov Ya.Sh., Gotman A.L. Experience of application of one-pile foundation under the columns. «Power construction», 1978, №2. – P. 75-77.
2. Gotman A.L., Balyavin G. Experience of application of composite driven cast-in-place piles under the columns of the metal structures shop. Ref. inform. Series II. Organization and technology of construction production. 1979, issue 9. – P. 5-7.

3. Lapshin F.K. To an assessment of efficiency of pyramidal piles. In the book «Geotechnics of the Volga Region». – Saratov, 1980. – P. 66-70.
4. Mitkina G.V. Faizullin I.Sh. Study of some factors influence on the bearing capacity of pyramidal piles. // NIIPromstroy Proceedings. – Ufa, 1976, issue 18. – P. 24-29.
5. Chichkin A.F., Budnikov I.V. Some questions of piles of various form behavior investigation. In the book «Geotechnics of the Volga Region». – Saratov, 1980. – P. 42-46.
6. Piven V.G., Bizhanov K.S., Tuleubaev A.A., Kozhabekov R.N. Investigation and introduction of pyramidal pile foundations in water-saturated sand of various density // Acceleration of scientific and technical progress in foundation engineering: Proceedings in 2 volumes / Edited by V.A. Ilyichev. Volume 2. Methods of design of effective bases and foundations constructions. N.M. Gersevanov scientific research Institute of bases and underground constructions. – M.: Stroyizdat, 1987. – P. 10-12.
7. Bakholdin B.V., Kolesnikov L.I., Shikalovich N.S, Ivashkevich V.Yu. The rational trends in increase of efficient pile foundation engineering in regions of Eastern Siberia and results of their experimental evaluation // Acceleration of scientific and technical progress in foundation engineering: Proceedings in 2 volumes / Edited by V.A. Ilyichev. Volume 1. The newest methods of construction soil properties investigation, progressive ways of foundations and bases engineering. – M.: Stroyizdat, 1987. – P. 143-145.
8. Gotman A.L., Sokolov L.Ya. Experimental evaluation of technical expediency and efficiency of composite one-pile foundation. Innovation structures and technologies in foundation engineering and geotechnics. Proceedings of scientific-technical conference. – M.: NOU VPO «INEP»: Publishing house «Paleotype», 2013. – P. 92-97.
9. Gotman A.L., Sokolov L.Ya. Investigations of behavior of composite piles of variable section under the horizontal load and their analysis // Proceedings of Institutes of higher education. Construction, 2013, № 6. – P. 105-114.