

В.И. ИСАЕВ
А.В. МАЛЬЦЕВ
А.А. КАРПОВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФОРМЫ И ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**PERFECTION OF THE FORM AND TECHNOLOGY OF THE REINFORCED
 CONCRETE PILES DESIGN FOR LOW-RISE CONSTRUCTION**

Представлены результаты расчетно-аналитического исследования несущей способности различных вариантов коротких свай, используемых в малоэтажном строительстве. Актуальность темы работы определена текущим положением в отрасли индивидуального домостроения. Рассмотрены наиболее распространенные свайные фундаменты в данном направлении строительства. Предложены два альтернативных варианта конструкций и технологии устройства свай. Произведен сравнительный анализ несущей способности предложенных авторами свай с наиболее распространенными вариантами. Материалы публикации отражают эффективность предложенных вариантов конструкций и предполагают продолжение исследовательской работы в этом направлении.

Ключевые слова: малоэтажное строительство, короткая свая, эффективный фундамент, пирамидально-призматическая свая, буротрамбованная свая с уширением, сравнительный анализ

The results of a computational and analytical study of the carrying capacity of various variants of short piles used in low-rise construction are presented. The relevance of the topic of work is determined by the current situation in the field of individual housing construction. The most common pile foundations in this direction of construction are considered. Two alternative designs and technologies for piling are proposed. A comparative analysis of the bearing capacity of the piles proposed by the authors with the most common variants is made. The materials of the publication reflect the effectiveness of the proposed designs and suggest continuation of research in this direction.

Keywords: low-rise construction, short pile, effective foundation, pyramidal-prismatic pile, drill-tamped pile with broadening, comparative analysis

Развитие малоэтажного строительства в нашей стране в последние годы резко набирает обороты. Осуществляется районная застройка многоквартирными трех-пятиэтажными домами, застраиваются коттеджные поселки, большой интерес у городских жителей вызывает частное домостроение [1]. В связи с этим становится актуальной задача по повышению производительности работ в данном направлении. Одним из способов повышения продуктивности в малоэтажном строительстве, по мнению авторов, было бы внедрение новых эффективных конструкций фундаментов. Так, если затраты на устройство нулевого цикла для многоэтажного гражданского здания в зависимости от сложности геологических условий может составлять 5–20 %, то для малоэтажного строительства эта цифра достигает 15–30 % [2]. В своем стремлении сэкономить на данном этапе застройщики все чаще обращаются к свайным фундаментам. Применяются различные типы свай как по своей конструкции, так и по способу устройства. В настоящее время в практике жилищного строительства широкое применение нашли короткие, длиной

3–4 м, винтовые сваи, буронабивные сваи, забивные сваи – призматические и реже пирамидальные.

В данной работе авторами предложены варианты совершенствования конструкций свай, а также сравнительная оценка несущей способности коротких свай различного типа в трех разновидностях грунтов.

У каждого из приведенного вида свай можно отметить определенные преимущества и недостатки. Так, например, фундамент из винтовых свай за счет своей дешевизны и простоты изготовления широко применяется в частном строительстве легких домов из дерева (бревна, бруса, sip-панелей, каркасных домов и т. д.). В связи с тем, что дома такого типа зачастую обладают невысокой пространственной жесткостью, имеет место передача на фундамент горизонтальных нагрузок. Из-за неразвитой боковой поверхности винтовых свай, находящихся к тому же в разрыхленном лопастями грунте, у фундамента появляются горизонтальные подвижки. Даже при наличии хорошей обвязки свай в домах, построенных на фундаментах такого типа,

жить некомфортно, ввиду появления подвижности конструктива здания. Также стоит отметить их низкую несущую способность и подверженность коррозии [3].

У буронабивных свай можно отметить невысокую несущую способность и наличие остатков рыхлого грунта в забое скважины, многодельность, мокрый процесс, сложность проведения контроля качества ствола свай, сезонное удорожание при прогреве бетона.

При применении забивных призматических свай к недостаткам следует отнести разрыхление грунта в начале погружения на глубину одного-двух диаметров по периметру свай, образование зазора между свайей и грунтом в верхней трети при погружении.

Недостаток пирамидальных свай заключается в том, что за счет наклона граней свай подвержены выталкивающим силам морозного пучения, набухания грунтов [4]. Кроме того, имеются трудности крепления пирамидальной свай к забивной установке.

Авторами предлагается ряд способов по совершенствованию формы и технологии устройства коротких свай. Одним из наиболее эффективных типов конструкции свайного фундамента для индивидуального жилого дома является буротрамбованная свая с уширением. На рис. 1 представлена последовательность устройства буротрамбованной

свай. Преимущество предложенной технологии заключается в следующем:

- в результате пробивки скважин образуются зоны уплотненного грунта с повышенными значениями прочностных и деформационных характеристик;
- в процессе втрамбовывания в забой пробитой скважины щебня или жесткой бетонной смеси образуется уширение диаметром, превышающим диаметр свай в 1,5–2 раза;
- передача нагрузки от свай на грунт основания как по их подошве, так и по боковой поверхности происходит вначале на более прочный, а затем менее прочный грунтовый материал при одновременном последовательном увеличении площади взаимодействия более прочного материала с менее прочным [5];
- применение обсадной трубы исключает необходимость в агрегате с направляющей для трамбующего снаряда штанги. При этом соотношение диаметров скважины, обсадной трубы и трамбовки можно принять как 450:425:375 мм. Высота трамбовки подбирается по заданному весу. Применение пробивки скважины на глубину более трех диаметров приближает несущую способность набивной свай к забивной.

Следующим эффективным типом конструкции свайного фундамента в малоэтажном строительстве,

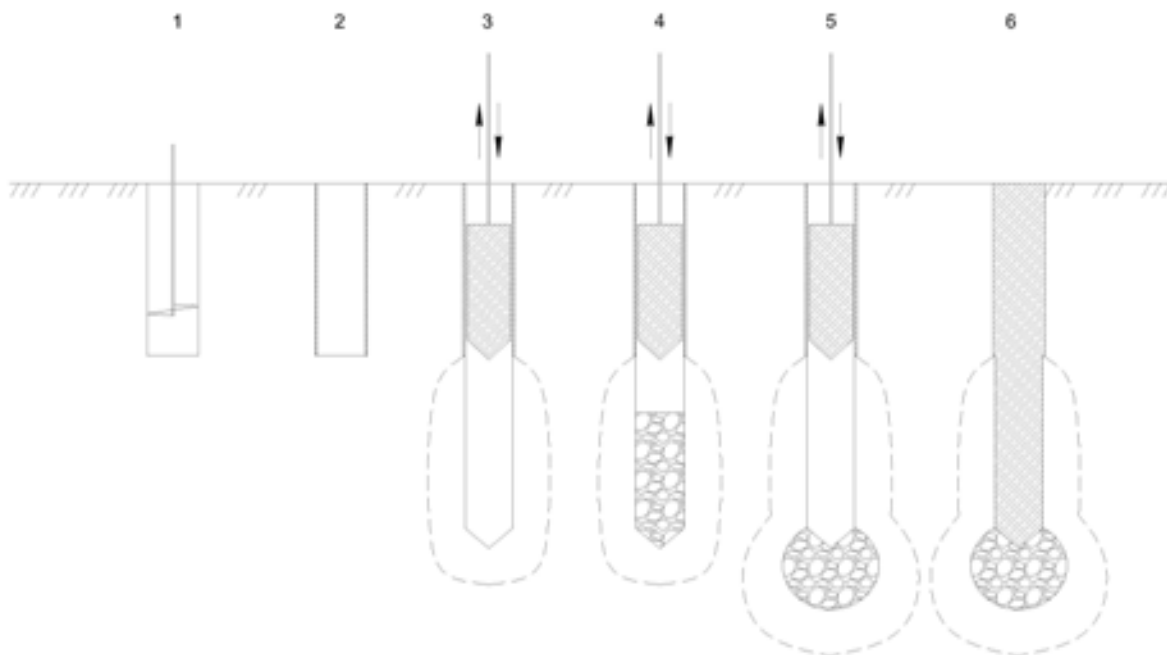


Рис. 1. Технологическая схема устройства буротрамбованной свай с уширением:
1 – бурение скважины; 2 – установка обсадной трубы;
3 – пробивка скважины на глубину трех диаметров свай;
4, 5 – устройство уширения путем утрамбовки крупнообломочного грунта или жесткой бетонной смеси; 6 – устройство тела свай

на взгляд авторов, является применение забивной пирамидально-призматической сваи. Конструкция сваи представляет собой комбинирование призматической сваи в нижней части и пирамидальной – в верхней. Предложенный вариант конструкции позволяет:

- повысить несущую способность сваи за счет наклонных граней и более развитой боковой поверхности. Увеличение несущей способности сваи с уширением в верхней части происходит в результате как уплотнения грунта при ее забивке, так и из-за специфики взаимодействия сваи и грунта под нагрузкой, такие конструкции свай при погружении уплотняют грунт в пределах зоны уплотнения, что особенно эффективно в макропористых грунтах. Таким образом, от характеристик зоны уплотнения в значительной степени зависит несущая способность свай с уширением наверху. Несущая способность таких конструкций возрастает не только за счет увеличения площади у оголовка, но и за счет изменения условий работы грунта по боковой поверхности сваи и силы трения, которая реализуется в большей мере [6]. По данным, полученным экспериментальным и расчетным способами [7, 8], подобного рода уширение дает прирост несущей способности в 1,5–2 раза, в зависимости от размера оголовка;

- устранить возможность выпора сваи силами морозного пучения за счет защемления призматиче-

ской части в талом грунте, что позволяет применять эту конструкцию выше глубины сезонного промерзания грунтов;

- облегчить процесс погружения сваи за счет того, что свая устанавливается в заранее пробуренную скважину и уже из этого положения забивается. Предложенная технология позволит решить проблему с фиксацией пирамидальной части сваи в вертикальном положении [9].

На рис. 2 представлена последовательность возведения пирамидально-призматической сваи.

Ниже представлена сравнительная оценка различных конструкций свай в трех грунтовых условиях – суглинок полутвердой, тугопластичной и мягкопластичной консистенций. Произведен расчет несущей способности свай по грунту, найдено количество затрачиваемого материала. Для определения эффективности применяемого типа фундамента было осуществлено сравнение такого параметра, как удельная несущая способность сваи, рассчитанного по формуле

$$F_{y0} = F_d / V,$$

где F_{y0} – удельная несущая способность, кН/м³;

F_d – несущая способность сваи, кН;

V – объем сваи, м³.

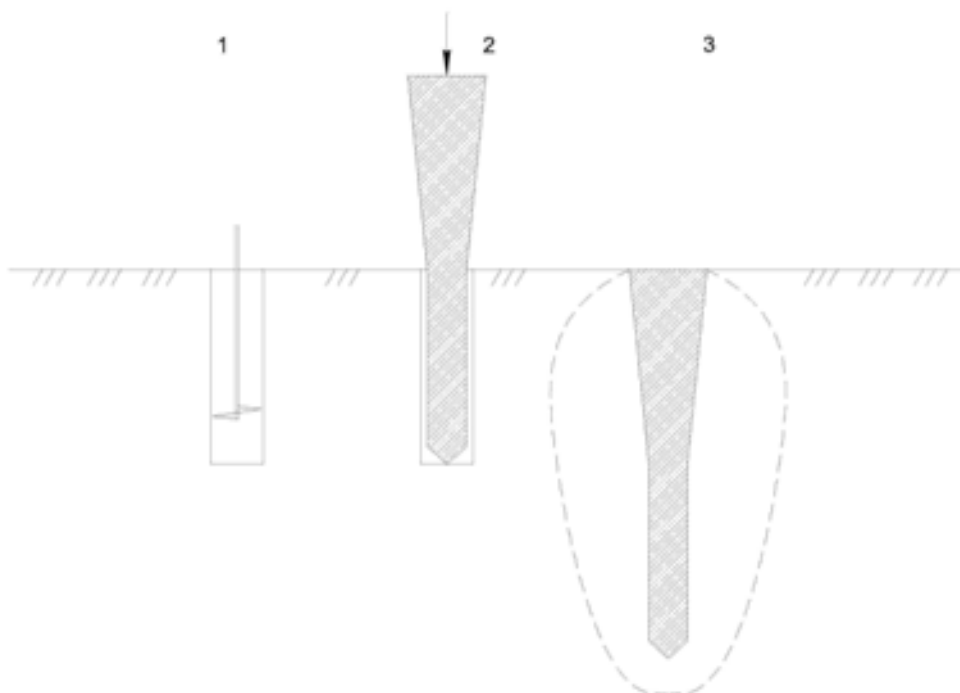


Рис. 2. Технологическая схема устройства пирамидально-призматической сваи:

1 – бурение скважины на глубину, соответствующую длине призматической части сваи;

2 – установка сваи в скважину;

3 – забивка сваи

Расчет несущей способности свай выполнен по известным формулам в соответствии рекомендациями СП 24.13330.2011. «Определение» несущей способности буротрамбованной части осуществлялось по формуле

$$F_d = F_{dR} + F_{df1} + F_{df2'}$$

где F_{dR} – несущая способность основания под нижним концом сваи, кН;

F_{df1} – несущая способность грунта вдоль боковой поверхности сваи на пробуренном участке, кН;

$F_{df2'}$ – несущая способность грунта вдоль боковой поверхности сваи на пробитом участке, кН.

Для расчета несущей способности пирамидально-призматической сваи предложена следующая формула:

$$F_d = F_{dR} + F_{df1} + F_{df2'}$$

где F_{dR} – несущая способность основания под нижним концом сваи, кН;

F_{df1} – несущая способность грунта вдоль боковой поверхности сваи на призматическом участке, кН;

$F_{df2'}$ – несущая способность грунта вдоль боковой поверхности сваи на пирамидальном участке с уклоном боковых граней $i_p > 0,025$ д.ед., кН.

В табл. 1 представлены результаты определения несущей способности различных типов коротких свай, в том числе предложенных авторами. Таблица составлена для трех типов грунтовых условий.

Таблица 1

Сравнительные характеристики свай различных конструкций

Буроабивная	Винтовая	Призматическая	Пирамидальная	Буротрамбованная	Буротрамбованная с уширением	Пирамидально-призматическая
1	2	3	4	5	6	7
Суглинок полутвердый, $I_L=0,2$ д.ед., $c=16,7$ кПа, $\varphi=20$ град., $E=17$ МПа						
$d=300$ мм $F_d=99$ кН $V=0,213$ м ³ $F_{ya}=465$ кН/м ³	$d_1=168$ мм $d_2=300$ мм $F_d=74$ кН	$b=200$ мм $F_d=214$ кН $V=0,12$ м ³ $F_{ya}=1783$ кН/м ³	$b_1/b_2=400/100$ мм $F_d=1234$ кН $V=0,21$ м ³ $F_{ya}=5876$ кН/м ³	$d_1/d_2=$ $=400/350$ мм $F_d=406$ кН $V=0,33$ м ³ $F_{ya}=1230$ кН/м ³	$d_1/d_2/d_3=$ $=400/350/700$ мм $F_d=1258$ кН $V=0,51$ м ³ $F_{ya}=2467$ кН/м ³	$b_1/b_2=$ $=400/200$ мм $F_d=792$ кН $V=0,23$ м ³ $F_{ya}=3443$ кН/м ³
$d=400$ мм $F_d=148$ $V=0,378$ м ³ $F_{ya}=392$ кН/м ³	$d_1=168$ мм $d_2=400$ мм $F_d=96$ кН	$b=300$ мм $F_d=411$ кН $V=0,27$ м ³ $F_{ya}=1522$ кН/м ³	$b_1/b_2=500/100$ мм $F_d=1483$ кН $V=0,31$ м ³ $F_{ya}=4784$ кН/м ³	$d_1/d_2=$ $=500/450$ мм $F_d=626$ кН $V=0,533$ м ³ $F_{ya}=1174$ кН/м ³	$d_1/d_2/d_3=$ $=500/450/900$ мм $F_d=2069$ кН $V=0,92$ м ³ $F_{ya}=2248$ кН/м ³	$b_1/b_2=$ $=500/200$ мм $F_d=965$ кН $V=0,26$ м ³ $F_{ya}=3784$ кН/м ³
$d=500$ мм $F_d=205$ $V=0,588$ м ³ $F_{ya}=349$ кН/м ³	$d_1=168$ мм $d_2=500$ мм $F_d=124$ кН	$b=400$ мм $F_d=668$ кН $V=0,48$ м ³ $F_{ya}=1392$ кН/м ³	$b_1/b_2=600/100$ мм $F_d=1748$ кН $V=0,43$ м ³ $F_{ya}=4065$ кН/м ³	$d_1/d_2=$ $=600/550$ мм $F_d=908$ кН $V=0,780$ м ³ $F_{ya}=1505$ кН/м ³	$d_1/d_2/d_3=$ $=600/550/1100$ мм $F_d=3047$ кН $V=1,48$ м ³ $F_{ya}=2058$ кН/м ³	$b_1/b_2=$ $=600/200$ мм $F_d=1121$ кН $V=0,32$ м ³ $F_{ya}=3503$ кН/м ³
Суглинок тугопластичный, $I_L=0,4$ д.ед., $c=15,3$ кПа, $\varphi=18$ град., $E=14$ МПа						
$d=300$ мм $F_d=52$ кН $V=0,213$ м ³ $F_{ya}=244$ кН/м ³	$d_1=168$ мм $d_2=300$ мм $F_d=44$ кН	$b=200$ мм $F_d=92$ кН $V=0,12$ м ³ $F_{ya}=767$ кН/м ³	$b_1/b_2=400/100$ мм $F_d=880$ кН $V=0,21$ м ³ $F_{ya}=4190$ кН/м ³	$d_1/d_2=$ $=400/350$ мм $F_d=169$ кН $V=0,33$ м ³ $F_{ya}=512$ кН/м ³	$d_1/d_2/d_3=$ $=400/350$ мм $F_d=510$ кН $V=0,51$ м ³ $F_{ya}=1000$ кН/м ³	$b_1/b_2=$ $=400/200$ мм $F_d=520$ кН $V=0,23$ м ³ $F_{ya}=2261$ кН/м ³
$d=400$ мм $F_d=79$ кН $V=0,378$ м ³ $F_{ya}=209$ кН/м ³	$d_1=168$ мм $d_2=400$ мм $F_d=62$ кН	$b=300$ мм $F_d=175$ кН $V=0,27$ м ³ $F_{ya}=648$ кН/м ³	$b_1/b_2=500/100$ мм $F_d=1061$ кН $V=0,31$ м ³ $F_{ya}=3423$ кН/м ³	$d_1/d_2=$ $=500/450$ мм $F_d=259$ кН $V=0,533$ м ³ $F_{ya}=486$ кН/м ³	$d_1/d_2/d_3=$ $=500/450$ мм $F_d=836$ кН $V=0,92$ м ³ $F_{ya}=909$ кН/м ³	$b_1/b_2=$ $=500/200$ мм $F_d=647$ кН $V=0,26$ м ³ $F_{ya}=2488$ кН/м ³

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
d=500 мм F _d =112 кН V=0,588 м ³ F _{ya} =191 кН/м ³	d ₁ =168 мм d ₂ =500 мм F _d =88 кН	b=400 мм F _d =281 кН V=0,48 м ³ F _{ya} =585 кН/м ³	b ₁ /b ₂ =600/100 мм F _d =1255 кН V=0,43 м ³ F _{ya} =2919 кН/м ³	d ₁ /d ₂ = =600/550 мм F _d =366 кН V=0,780 м ³ F _{ya} =469 кН/м ³	d ₁ /d ₂ /d ₃ = =600/550 мм F _d =1222 кН V=1,48 м ³ F _{ya} =826 кН/м ³	b ₁ /b ₂ = =600/200 мм F _d =760 кН V=0,32 м ³ F _{ya} =2376 кН/м ³
Суглинок мягкопластичный, I _L =0,6 д.ед., c=13,3 кПа, φ=16 град., E=12 МПа						
d=300 мм F _d =38 кН V=0,213 м ³ F _{ya} =178 кН/м ³	d ₁ =168 мм d ₂ =300 мм F _d =30 кН	b=200 мм F _d =49 кН V=0,12 м ³ F _{ya} =408 кН/м ³	b ₁ /b ₂ =400/100 мм F _d =619 кН V=0,21 м ³ F _{ya} =2948 кН/м ³	d ₁ /d ₂ = =400/350 мм F _d =89 кН V=0,33 м ³ F _{ya} =270 кН/м ³	d ₁ /d ₂ /d ₃ = =400/350 мм F _d =260 кН V=0,51 м ³ F _{ya} =510 кН/м ³	b ₁ /b ₂ = =400/200 мм F _d =349 кН V=0,23 м ³ F _{ya} =1517 кН/м ³
d=400 мм F _d =58 кН V=0,378 м ³ F _{ya} =153 кН/м ³	d ₁ =168 мм d ₂ =400 мм F _d =46 кН	b=300 мм F _d =90 кН V=0,27 м ³ F _{ya} =333 кН/м ³	b ₁ /b ₂ =500/100 мм F _d =748 кН V=0,31 м ³ F _{ya} =2413 кН/м ³	d ₁ /d ₂ = =500/450 мм F _d =135 кН V=0,533 м ³ F _{ya} =253 кН/м ³	d ₁ /d ₂ /d ₃ = =500/450 мм F _d =423 кН V=0,92 м ³ F _{ya} =460 кН/м ³	b ₁ /b ₂ = =500/200 мм F _d =440 кН V=0,26 м ³ F _{ya} =1692 кН/м ³
d=500 мм F _d =83 кН V=0,588 м ³ F _{ya} =141 кН/м ³	d ₁ =168 мм d ₂ =500 мм F _d =64 кН	b=400 мм F _d =145 кН V=0,48 м ³ F _{ya} =302 кН/м ³	b ₁ /b ₂ =600/100 мм F _d =887 кН V=0,43 м ³ F _{ya} =2063 кН/м ³	d ₁ /d ₂ = =600/550 мм F _d =190 кН V=0,780 м ³ F _{ya} =243 кН/м ³	d ₁ /d ₂ /d ₃ = =600/550 мм F _d =619 кН V=1,48 м ³ F _{ya} =418 кН/м ³	b ₁ /b ₂ = =600/200 мм F _d =522 кН V=0,32 м ³ F _{ya} =1631 кН/м ³

Для визуализации сравнительной оценки рассмотренных конструкций фундаментов были построены зависимости несущей способности свай от расхода бетона. Как видно из графиков (рис. 3), наиболее эффективной по соотношению «расход бетона – несущая способность» является пирамидальная

свая, за ней следуют пирамидально-призматическая и буротрамбованная с уширением для всех типов грунтов. Исходя из результатов сравнения, а также учитывая тот факт, что применение пирамидальных свай ограничивается глубиной сезонного промерзания, можно сделать **вывод** о высокой конкуренто-

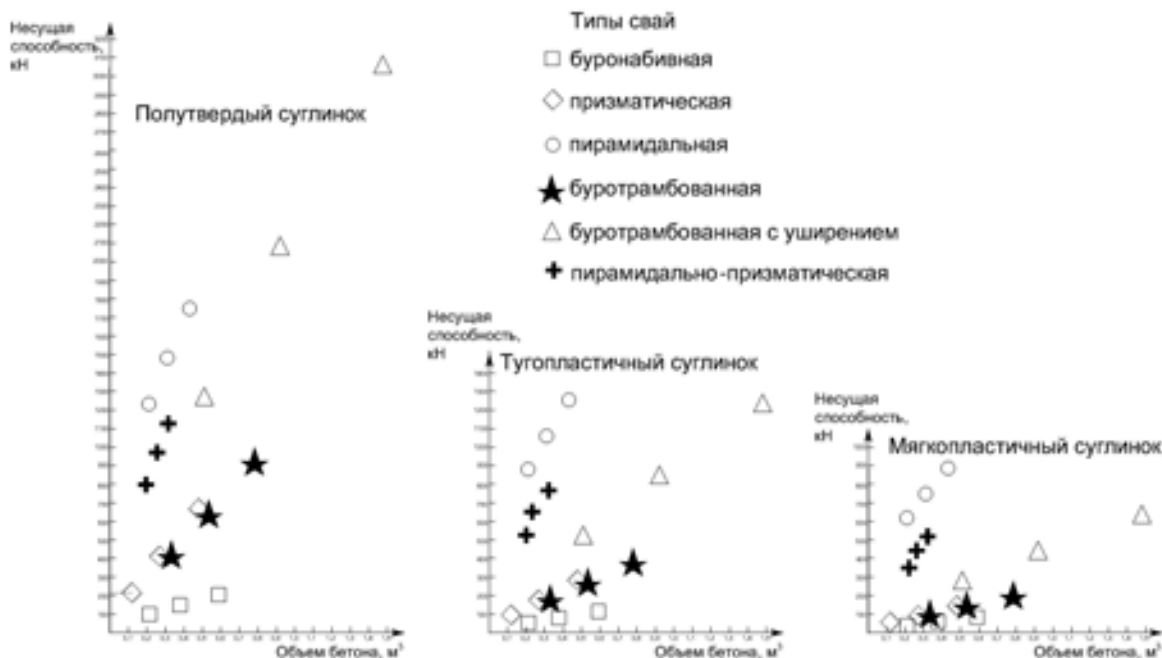


Рис. 3. Графики зависимости несущей способности свай от расхода бетона

способности предлагаемых конструкций свайных фундаментов. Предлагаемые типы фундаментов значительно снизят как трудовые, так и материальные затраты в индивидуальном домостроительстве за счет относительной простоты устройства, меньшего расхода материалов и, в то же время, повышенной несущей способности по сравнению с прочими типами свайных фундаментов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зайнуллина Т.Г. Проблемы и перспективы малоэтажного жилищного строительства // Terra Economicus / Южный федеральный университет. Ростов-н/Д, 2013. Т.11, №4–2. С.61–63.
2. Кравцов В.Н., Лапатин П.В. Сваи малого поперечного сечения для фундаментов малоэтажных зданий, упрочнения грунтов и их расчет // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки. Новополоцк (Белорусия), 2016. №16. С.102–107.
3. Мангушев Р.А. Современные свайные технологии. М.: АСВ, 2010. 240 с.
4. Руководство по проектированию свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1980. 533 с.
5. Крутов В.И. Проектирование и устройство свайных фундаментов и упрочненных оснований из набивных свай в пробитых скважинах. Пенза: ПГУАС, 2011. 100 с.

Об авторах:

ИСАЕВ Вениамин Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 339-14-69

МАЛЬЦЕВ Андрей Валентинович

кандидат технических наук, заведующий кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 339-14-69

КАРПОВ Андрей Анатольевич

учебный мастер кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 339-14-69

6. Купчикова Н.В. Исследование взаимодействия различных видов конструкций свай с поверхностными уширениями и грунта // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сборник материалов международной научной конференции / Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. М., 2015. С.647–651.

7. Исаев В.И., Мальцев А.В., Карпов А.А. Исследование возможности увеличения несущей способности короткой забивной сваи за счет устройства уширения в верхней части // Градостроительство и архитектура. 2016. №4 (25) С. 30–35. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.5.

8. Isaev V.I., Maltsev A.V., Karpov A.A. Comparative evaluation of bearing capacity of a short driven pyramidal-prismatic pile using mathematical models // Procedia Engineering. 2016. Т. 153. С. 223–227.

9. Исаев В.И., Юрченко Г.Ю. Улучшение технологии изготовления и погружения пирамидально-призматических свай // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 71 Всероссийской научно-технической конференции / СГАСУ. Самара, 2014. С. 902.

ISAEV Veniamin I.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Engineering Geology, Bases and Foundations Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 339-14-69

MALTSEV Andrey V.

PhD in Engineering Science, Head of the Engineering Geology, Bases and Foundations Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 339-14-69

KARPOV Andrey A.

Training Master of the Engineering Geology, Bases and Foundations Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 339-14-69

Для цитирования: Исаев В.И., Мальцев А.В., Карпов А.А. Совершенствование формы и технологии устройства железобетонных свай для малоэтажного строительства // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №2. С. 9-14. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.2.

For citation: Isaev V.I., Maltsev A.V., Karpov A.A. Perfection of the Form and Technology of the Reinforced Concrete Piles Design for Low-Rise Construction // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, 2. Pp. 9-14. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.2.