

**СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА**

doi: 10.51639/2713-0576\_2022\_2\_1\_13

УДК 624.15.04

ГРНТИ 67.11.29

**О влиянии выполненных различными способами уширений по стволу и в торце буронабивных свай на их несущую способность**<sup>1\*</sup> Рыбников А. М., <sup>2</sup> Рыбникова И. А., <sup>2</sup> Цаллагов С. Ч.<sup>1</sup> ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 353918, Россия, Новороссийск, пр. Ленина 93<sup>2</sup> НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, 353919, Россия, Новороссийск, Мысхакское шоссе 75email: \* [a.ribnikov@novoroskhp.ru](mailto:a.ribnikov@novoroskhp.ru), [rybnikova-i-a@nb-bstu.ru](mailto:rybnikova-i-a@nb-bstu.ru), [s.tsallagov@novoroskhp.ru](mailto:s.tsallagov@novoroskhp.ru)

Рассмотрена возможность использования буронабивных свай. При реконструкции существующих предприятий часто возникают трудности, связанные со стеснённостью строительной площадки. Поэтому при устройстве фундаментов целесообразно использовать конструкции, обладающие небольшими размерами в плане. К таким конструкциям фундаментов относятся, в частности, на буронабивных сваях, изготавливаемые непосредственно на строительной площадке путём бурения скважин и заполнения их бетоном. В отличие от забивных свай при их устройстве отсутствует динамическое влияние на основания рядом расположенных сооружений.

*Ключевые слова:* буронабивная свая, камуфлетное уширение, уширение сваи вдавливанием, уширение сваи раскатыванием, несущая способность.

**Введение**

Буронабивные сваи целесообразно применять в маловлажных глинистых грунтах, когда бурение скважин и бетонирование производится сухим способом без применения обсадных труб или защитного глинистого раствора (суспензии) для крепления стенок скважин. Однако известно, что несущая способность цилиндрических буронабивных свай по материалу ствола реализуется лишь на 30...40 %, и по грунту – на 50...60 %. Увеличение несущей способности может быть реализовано созданием оптимальной геометрии её ствола, в частности, устройством уширений в торце и по стволу. Устройство уширений позволяет передать на грунт значительные нагрузки и наиболее полно использовать несущую способность ствола сваи. Сваи бывают с камуфлетной пятой, устраиваемой взрывом, а также с уширениями, выполненными механическим способом резанием или вдавливанием грунта в местах уширения ствола [1].

Сваи с уширениями, устроенными с помощью механических режущих уширителей, имеют меньшую несущую способность по сравнению со сваями, у которых уширение выполнено вдавливанием, раскатыванием или камуфлетированием (взрывом) грунта. Это связано с тем, что вокруг расширенной таким способом части грунт не уплотняется. Срезанный грунт может осыпаться и оставаться в нижней части полости, что понижает несущую способность сваи. В уширениях, выполненных раскатыванием, вдавливанием или камуфлетированием, этот недостаток устранён. Однако во всех случаях устройство уширений требует больших затрат времени – операции устройства полости специальными механизмами или машинами занимает в отдельных случаях значительно больше времени, чем бурение скважины.

Поэтому с экономической точки зрения выгодно, чтобы уширители применялись в качестве рабочего навесного оборудования бурильной машины.

Более экономичными являются сваи с камуфлетной пятой, образуемой энергией взрыва. Скорость образования уширения в этом случае, даже с учётом подготовки взрывных работ, значительно превышает другие способы устройства уширений. Во время вдавливания или раскатывания уширений в скважине, а также в момент камуфлетирования происходит отжатие грунта от стенок скважины, вследствие чего грунт уплотняется. Это повышает удельную несущую способность (на 1 м<sup>3</sup> материала) свай. Косвенным критерием получения заданного размера уширенной камуфлетной пяты (рис. 1) является объём бетонной смеси, просевшей в полость, то есть высота опускания столба бетонной смеси в скважине после взрыва [2].



Рис. 1. Отрытая буронабивная свая с камуфлетным уширением в торце

Однако камуфлетные сваи наряду с преимуществами имеют и недостатки, связанные со взрывными работами: привлекаются специалисты-взрывотехники, прекращаются работы при проведении взрывных операций, сотрясается грунт взрывной волной. Поэтому при выполнении таких свайных работ вблизи существующих сооружений и работающей техники следует принимать организационные и технические меры по безопасному ведению взрывных работ.

## Методология

В целях определения эффективности использования буронабивных свай с уширениями, выполненными различными способами, проводились натурные полевые испытания на разных полигонах, сложенных связными глинистыми маловлажными грунтами вертикальной вдавливающей статической нагрузкой согласно ГОСТ 5686-2012 [3]. По результатам испытаний строились графики зависимости «нагрузка-осадка», и по ним определялась несущая способность свай по нормативному документу [4]. Проверка качества изготовления ствола и уширений определялись посредством отрывки свай из грунта. Для

определения напряжений по контакту уширений и грунта, а также распределения давлений по стволу использовалось тензометрическое оборудование/

## Основная часть

Для выявления характера распределения контактных напряжений по сферической поверхности камуфлетной пяты в глинистых грунтах в г. Темиртауна опытном полигоне на территории Карагандинского металлургического комбината были произведены испытания сваи вертикальной статической нагрузкой с одновременным замером напряжений по контакту «пяты сваи–грунт» [5]. Для опытной камуфлетной сваи в забое скважины диаметром 600 мм и глубиной 2,5 м устанавливался заряд взрывчатого вещества (ВВ). Затем скважина заполнялась водой (гидрозабойка), и производился взрыв ВВ, в результате чего получалось полое сферическое уширение в основании скважины. Вода частично выбрасывалась из гидрозабойки и испарялась от высоких температур продуктов взрыва, что позволяло предварительно произвести замер камуфлетной полости с помощью специальной тарировочной штанги до укладки бетонной смеси. После рассеивания взрывных газов и удаления остатков воды в камуфлетной полости устанавливались мессдозы конструкции ЦНИИСК [6]. Уширение диаметром 1 м имело симметричную форму относительно вертикальной оси. По данным тензометрических замеров строилась эпюра контактных напряжений в грунте под уширенной пятой камуфлетной сваи.

В результате испытаний было установлено, что в поперечных сечениях при давлении под пятой по оси сваи от 0,2 до 1,0 МПа эпюры имеют ярко выраженную параболическую форму (рис. 2). Сравнение максимальных контактных напряжений по оси сваи со средними значениями удельных величин сопротивления грунта, принимаемых условно распределёнными равномерно по площади круга, показало, что последние на 11 % меньше. Это следует учитывать при проектировании фундаментов из свай с таким уширением.

С целью определения эффективности буронабивных свай с уширением, образованным режущим уширителем на строительной площадке Ермаковского завода ферросплавов (ЕЗФ) был заложен опытный полигон [7]. Площадка полигона сложена глинами полутвёрдой консистенции. Для получения и сравнения данных о несущей способности с уширением и без него были изготовлены эталонные цилиндрические сваи диаметром 0,6 м длиной 5,3 м и сваи с уширением такой же длины и диаметром уширения 1,2 м. Все скважины армировались и заполнялись бетоном литой консистенции с уплотнением глубинным вибратором. Перед армированием и бетонированием забой скважин зачищался от остатков разбуренного грунта. Хорошее качество полученных уширений подтвердилось при откапывании свай. Свод и забой уширений, выполненных уширителем раскатывающего действия, имели гладкую уплотнённую поверхность (рис. 3).

На этом же полигоне были заложены, испытаны, а потом откопаны буронабивные сваи с камуфлетным уширением в забое, а также с уширением в средней части ствола, выполненное раскатывающим способом с помощью роликов. Форма уширений и качество их поверхностей соответствовали установленным требованиям (рис. 4). Для разделения на составляющие нагрузки, действующие на сваю, в процессе бетонирования по стволу сваи устанавливались тензодинамометры [8] с помощью электрического датчика уровня горизонтальности (ЭДУГ). Обработка результатов испытаний свай показали, что несущая способность свай с одним уширением 2,3 раза выше, чем у цилиндрических свай, а у свай с двумя уширениями – в 2,8 раза, что говорит о нецелесообразности устройства второго уширения.

Полная реализация сил сопротивления грунта по боковой поверхности у свай с уширением на уплотнённом основании происходила при их осадке на 5...7 мм и на 10...18 мм у свай с уширением, выполненном резанием грунта. Доля несущей способности, воспринимаемая

торцом цилиндрических свай, составила 50...55 %, а сваи с уширенным основанием – 75...80 %. Кривая графика «нагрузка-осадка» у свай с уширением имеет более пологий характер, чем у цилиндрических свай без уширений, что говорит о неполном использовании сопротивления грунта в основании уширения.

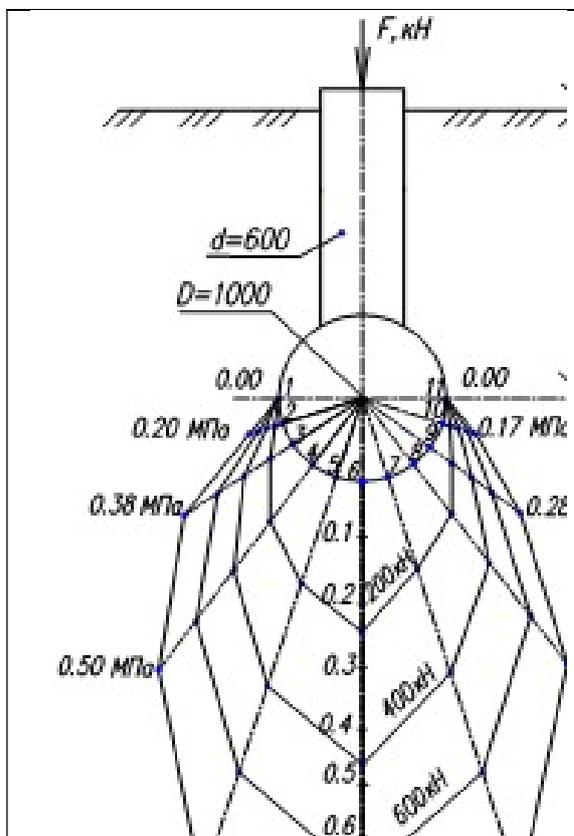


Рис. 2. Эпюры распределения контактных напряжений под камуфлетным уширением сваи



Рис. 3. Отрытая свая с уширением в торце, выполненным режущим способом

Таким образом, применение буронабивных свай с уширенным основанием, образованным уширителем с уплотняющими катками или камуфлетным уширением, приводит к рациональному использованию материала ствола сваи и повышению её удельной несущей способности. Использование второго уширения по стволу сваи нецелесообразно как по несущей способности, так и времени устройства уширения.

На другой площадке ЕЗФ, сложенной глинами от полутвёрдой до твёрдой консистенции, проводились исследования буронабивных свай диаметром 0,6 м длиной 5 м, выполненных уширителями конструкций раскатывающего действия с уплотняющими катками и режущего действия с ножами [9]. Исследования показали, что на удельную несущую способность свай оказывают влияние диаметр и тип выполненного уширения. Для свай с уширениями диаметром 0,8; 1,0; 1,2 м, выполненных раскатыванием, их несущая способность возрастала соответственно в 1,5; 1,9; 2,3 раза. При указанных диаметрах пяты прирост сопротивления уплотнённого грунта составил соответственно 18; 24; 38 %. Анализ экспериментов показал, что удельная несущая способность свай с одинаковой уширенной пятой, образованной уширителем с режущими ножами, на 14...31 % ниже удельной несущей способности свай с уширенной пятой, образованной уширителем с уплотняющими катками. Таким образом, затраты машинного времени и материала на устройство уширений ствола свай, особенно уплотняющего действия, целесообразны и эффективны.

## Выводы

Исследования буронабивных свай с уширениями, выполненными разными способами, позволили сделать следующие выводы.

- уплотнение грунта при образовании уширенной пяты раскатыванием и камуфлетированием в основании сваи увеличивает удельную несущую способность буронабивных свай при прочих равных условиях до 1,5 раз;

- второе уширение по стволу сваи значительного эффекта не приносит, что говорит о нецелесообразности его применения;

- удельная несущая способность свай с уширенной пятой на уплотнённом катками основании на 18...30 % превосходит удельную несущую способность свай с уширенной пятой режущего типа на неуплотнённом основании;

- эпюра контактных напряжений в основании уплотнённого уширения сваи имеет ярко выраженную параболическую форму, что необходимо учитывать при проектировании свайных фундаментов;

- буронабивные сваи с уширенной пятой на уплотнённом основании передают значительные нагрузки на уширенную пяту при малых её осадках, что обеспечивает одновременное наиболее полное использование сопротивление пяты и боковой поверхности такой сваи;

- у свай с уширенной пятой на неуплотнённом основании пята сваи вступает в работу лишь после проскальзывания боковой поверхности ствола при значительных осадках.

## Список литературы

1. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
2. Бойко Н. В. Технология и организация устройства свайных фундаментов: Автореф. дис. док. техн. наук. Москва, 1990. 39 с.
3. ГОСТ 5686-2012. Грунты. Методы полевых испытаний сваями.
4. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*.
5. Филатов А. В. Развитие теории и практики реконструкции фундаментов и подземных сооружений металлургических предприятий: Автореф. дис. док. техн. наук. Санкт-Петербург, 1992. 45 с.
6. Баранов Д. С. Руководство по применению прямого метода измерения давлений в сыпучих средах и грунтах. – М.: ЦНИИСК, 1965. – 147 с.
7. Гнатюк В. И., Филиппов К. Г. Влияние уширений ствола буронабивных свай на повышение их удельной несущей способности // Прогрессивные конструкции фундаментов и методы производства работ по их устройству: тезисы докладов науч.-практ. конф. / Оренбург: Изд-во «Южный Урал», 1986. С. 51–53.
8. Фремке А. В. Электрические измерения. – М.: Энергия, 1973. – 424 с.
9. Гнатюк В. И. Короткие буронабивные сваи с уширенной пятой на уплотнённом основании в глинистых грунтах: Автореф. дис. канд. техн. наук. Москва, 1986. 19 с.

**On the effect of the extensions made by different methods along the trunk and at the end of the bored piles on their bearing capacity**

<sup>1</sup> Rybnikov A. M., <sup>2</sup> Rybnikova I. A., <sup>2</sup> Tsallagov S. Ch.

<sup>1</sup> *GMU named after adm. F. F. Ushakov, 353918, Russia, Novorossiysk, Lenin Ave. 93*

<sup>2</sup> *NB BSTU named after V.G. Shukhov, 353919, Russia, Novorossiysk, Myskhakskoe shosse 75*

The work of bored piles with widenings at the end, made by the camouflage method (explosive explosion energy), has been studied. According to the data of strain measurements of messdoz, it was found that in cross sections at a pressure under the fifth along the axis of the pile, the contact stress diagrams have a pronounced parabolic shape. It was also determined that the bearing capacity of piles with one camouflage broadening at the end is 2.3 times higher than that of cylindrical piles, and piles with broadening along the trunk and at the end are 2.8 times higher. The regularity of the increase in the specific load-bearing capacity in 1.5; 1.9 is revealed; 2.3 times for bored piles with a diameter of 0.6 m and a length of 5 m, with widenings, respectively, with a diameter of 0.8; 1.0; 1.2 m, made by rolling action wideners.

*Keywords:* bored pile, camouflage broadening, widening of the pile by indentation, widening of the pile by rolling, bearing capacity.