

*Рыбникова И.А., ст. препод.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
(Новороссийский филиал)
Рыбников А.М., канд. техн. наук, доц., ст. научн. сотр.
Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова (г. Новороссийск)*

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БАРЕТТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

a.ribnikov@novoroskhp.ru

Известно применение стены в грунте в виде глубокой траншеи заполненной бетоном под тиксотропным раствором. Логичным было создание вместо цилиндрической буронабивной сваи конструкции плоской сваи, выполняемой как одна захватка (глубокого шлица) стены в грунте. При одинаковой площади сечения с круглой сваем, площадь боковой поверхности плоской сваи может быть больше в 1,2...1,5 раза и, как следствие этого, иметь повышенную несущую способность за счёт сил трения по боковой поверхности. Такую конструкцию назвали баретта, а фундамент с их использованием – бареттным фундаментом по аналогии со свайным фундаментом. Отработана технология их устройства. Методику расчёта несущей способности буронабивных свай предложено использовать применительно к расчёту бареттов как плоских свай. Рассмотрен опыт применения таких фундаментов при реконструкции плавильного цеха № 4 Ермаковского завода ферросплавов, а также офисно-жилого дома башенного типа в Киеве. В результате были уменьшены трудозатраты и снижена стоимость устройства нулевого цикла зданий. Дальнейшее использование рассматриваемых фундаментов в более широких масштабах требует проведения дополнительных исследований, включая применение тензометрического оборудования при испытаниях натуральных барретов, а также усовершенствование методики их расчёта несущей способности.

Ключевые слова: шлиц, плоская свая, стена в грунте, боковая поверхность, баретта, бареттные фундаменты, несущая способность.

Введение. В нормативной литературе [1] к бареттам отнесены буровые сваи, изготавливаемые технологическим оборудованием типа плоский грейфер (рис.1) или грунтовой фрезой. В первом случае грунт в скважине (шлице) для одиночной плоской сваи разрабатывается и удаляется двухчелюстным напорным грейфером периодического действия на ширину раскрытия челюстей. Сечение получающейся сваи (баретты) в зависимости от размеров грейфера составляет порядка 2...2,5×0,4...0,8 м. В данном случае получаемую баретту в грунте по принципам конструкции и работы можно отнести к плоской свае-опоре глубокого заложения. Во втором случае скважину (глубокий шлиц) изготавливают вращающейся фрезой непрерывного действия с аналогичными геометрическими параметрами. Поэтому в одном и другом случае баретты затруднительно отнести к буровым сваям, изготовленным в грунте от слова «бурение», так как ни фреза, ни грейфер грунт разрабатывают не вертикальным бурением, а резанием. Следует отметить, что слово баретта в документе [1] пишется с двумя буквами «т».

В другом нормативном источнике [2] по определению баррета (с двумя буквами «р») – это несущий железобетонный фундамент (стержень), с рабочей боковой поверхностью, выполненный в одной захватке способом «стена в грунте» – как её единичный элемент, что больше соответствует реалиям с учётом технологии её

возведения. Как известно «стена в грунте» – подземная стена, сооружаемая в траншее (прочном грунте) «насухо» или в слабом водонасыщенном грунте под защитой тиксотропного глинистого или иного раствора (удерживающего стенки от обрушения) с последующим погружением арматурного каркаса и заполнением монолитным бетоном через бетонолитную трубу с откачиванием вытесняемого бетоном раствора. Если стена в грунте остаётся заполненной тиксотропным раствором без последующего бетонирования, то она выполняет роль глинистой противодиффузионной завесы (в отличие от стальной шпунтовой).



Рис. 1. Двухчелюстной напорный грейфер

В других источниках слово барретта (женского рода, как и свая) пишется с двумя буквами «р» и двумя буквами «т». Поэтому условно примем правильным написание наиболее часто встречающимся словом «баретта» с двумя буквами «т» и дадим ей определение – плоская свая глубокого заложения, выполненная как одна захватка (элемент) способом «стена в грунте». По конструкции бареттные фундаменты – аналог свайных фундаментов. Если конструкция фундаментов, в которую включены ростверк и сваи, называется свайным, логично назвать конструкцию фундамента с ростверком и бареттами – бареттными фундаментами.

Баретты могут воспринимать значительные вертикальные, горизонтальные и моментные нагрузки, особенно действующие вдоль их вытянутой стороны. Из геометрических построений видно, что при одинаковой площади сечения с круглой свайей, площадь боковой поверхности баретты может быть больше в 1,2...1,5 раза и, как следствие этого, иметь повышенную несущую способность за счёт сил трения по боковой поверхности у свайей баретты.

Методология. Имеется достаточный опыт применения бареттных фундаментов на реальных объектах капитального строительства. Прежде чем такие фундаменты внедрялись в практику строительства отработывалась технология их устройства как единичного элемента «стены в грунте» на строительных площадках в натуральную величину. По результатам натурных испытаний буровых свай на площадках строительства применительно к бареттам разрабатывалась проектная документация по которой возводился нулевой цикл зданий и сооружений. Кроме того, методом конечных элементов моделировалась совместная работа плитного фундамента на бареттах и напряжённо-деформируемого состояния грунтового массива бареттного фундамента. Для расчёта несущей способности таких конструкций использовались данные результатов испытаний натурных буронабивных цилиндрических свай, а также методика расчёта таких свай применительно к бареттам, как к плоским сваям глубокого заложения.

Основная часть. Авторы занимались бареттными фундаментами при разработке проектно-сметной документации и проекта производства работ для реконструкции (удлинения) плавильного цеха № 4 Ермаковского завода ферросплавов [3]. Реконструкция осуществлялась в сложных стеснённых условиях действующего цеха без остановки производства. Предстояло возвести фундаменты под стальные колонны по осям пристраиваемого пролёта на расстоянии 6,5 м от существующего здания цеха. Глубина

заложения существующих монолитных столбчатых фундаментов реконструируемого цеха № 4 составляет 5,0 м. На этой же отметке рядом с запроектированными бареттными фундаментами пристройки к цеху находятся столбчатые фундаменты газоотсасывающей станции цеха. В связи с этим площадка строительства до отметки –5,0 м сложена слежавшимися глинистыми грунтами обратной засыпки. Ниже, до глубины 20 м, залегают глины аральской свиты твёрдой и полутвёрдой консистенции. Уровень грунтовых вод при инженерно-геологических изысканиях зафиксирован на отметке – 1,5 м. Площадка строительства хорошо изучена, на ней проводилось достаточное количество натурных испытаний цилиндрических буронабивных свай разных диаметров (400...600 мм), включая с камуфлетным уширением. Данные несущей способности свай были использованы при проработке вариантов применения разных конструкции фундаментов.

Однако основная сложность при рассмотрении вариантов устройства фундаментов заключалась в том, что вдоль всего ряда и по некоторым поперечным осям проходят действующие без- и высоконапорные трубопроводы, перенос которых в стеснённых условиях строительства очень сложен, а их отключение на переврезку связано с недопустимой остановкой непрерывного производственного процесса плавильного цикла. В этих условиях и было принято рациональное решение о применении бареттных фундаментов, хотя информация о них имелась в тот период минимальная.

Бареттные фундаменты были запроектированы двух типов: одиночные (рис. 2) и спаренные (рис. 3), соответственно состоящие из одной и двух баретт, жёстко заделанных в железобетонные ростверки посредством выпусков арматуры. Непосредственно в ростверке замоноличивались анкерные болты для крепления стальных колонн. Баретта принята размерами в плане 2,5×0,63 м – на ширину полного раскрытия челюстей напорного грейфера и длиной 7,6 м: 7,5 м – в грунте для обеспечения несущей способности 2 000 кН и 0,1 м – заделка головы баретты в ростверке. Несущая способность была рассчитана как для плоской свайей. Выемка (глубокий шлиц) под баретту отрывалась экскаватором ЭО-5122 Воронежского экскаваторного завода с ёмкостью напорного ковша-грейфера 0,6 м³ под защитой глинистого раствора из бентонита. Таким образом была применена технология возведения одиночных выемок способ «стена в грунте». Расчётная вертикальная нагрузка на одну баретту составляет 1500 кН.

Армировались баретты на всю высоту каркасами из рабочей арматуры класса А-III диаметром 20 мм. Для удобства монтажа арматурным каркасам придана пространственная жёсткость. В середине арматурного пространственного каркаса на всю высоту предусматривалось окно размерами 0,5×0,3 м в которое опускалась бетонолитная труба. Для жёсткой связи с ростверком в каждой баретте оставлялись 12 выпусков арматурного каркаса длиной по 0,6 м. Ростверки также армировались жёсткими пространственными арматурными каркасами.

До начала работ по устройству бареттов в необходимых местах некоторые участки капитальной торцевой стены цеха демонтировались и ограждались временными лёгкими конструкциями чтобы не останавливать производственный процесс. Затем вдоль осей запроектированных фундаментов бульдозером планировалась полоса шириной 3 м с отсыпкой глины и уплотнения её механическими катками до планировочной отметки грунта ±0,00 м, что ниже верхнего обреза ростверка на 20 см. Для предотвращения обрушения устья разрабатываемых шлицев до начала их отрывки по контуру длинных сторон они обкладывались плитами форшахт – по три с каждой стороны. С этой целью использовались бетонные дорожные плиты ПДК-1,0 размерами 1×1×0,4 м. Шлицы под баретты разрабатывались под глинистой суспензией плотностью 1,03–1,1 г/см³, которая доставлялась на площадку автобетоносмесителями.

После отрывки шлица до проектной отметки – 9,1 м его дно очищалось от шлама (разрыхлённый в забое и осыпавшийся грунт) в него опускался и фиксировался на отрезках двутавра № 12, опиравшихся на плиты форшахты, арматурный каркас. Жёсткая фиксация армокаркаса в проектном положении осуществлялась его подвеской путём приварки выпусков арматуры к металлическим уголкам, связывавших двутавры в плоскую раму, а также полосьями на каркасе для образования защитного слоя бетона в шлице. Арматурный каркас устанавливался не более чем за 8 часов до начала укладки бетонной смеси в шлиц.

На следующем этапе в окно армокаркаса заводилась бетонолитная труба диаметром 20 см, состоящая из звеньев длиной 1 м и приёмной воронки. Бетонная смесь подавалась из автобетоновозов непрерывно до полного изготовления баретты до отметки – 1,5 м. При этом низ бетонолитной трубы в начале бетонирования находился на уровне дна шлица, а затем ниже уровня изменяющейся поверхности бетонной смеси – не менее 1 м.

В процессе укладки бетонной смеси периодически из шлица грязевым насосом 9-МГР откачивался в отдельную ёмкость глинистый раствор. Однако верхний уровень раствора постоянно находился не ниже чем на 0,25 м от устья шлица. Требуемые параметры вытесненного глинистого раствора для повторного использования восстанавливались его очисткой или добавкой свежей глины. С учётом сложности условий строительства следующий шлиц разрабатывался только по окончании бетонирования предыдущего.

После изготовления бареттов и набора бетоном прочности не менее 50 % выполнялся ростверк. Для этого под каждый фундамент отрывался котлован до отметки – 1,7 м и устраивалась бетонная подготовка высотой 10 см до отметки – 1,6 м. На неё монтировалась унифицированная разборно-переставная опалубка, в которую устанавливался арматурный каркас ростверка. Бетонная смесь подавалась в опалубку также из автобетоновоза и уплотнялась глубинным вибратором. Для облегчения снятия опалубки она смазывалась следующим составом: масло (нигрол) – 10–15 %, мыло хозяйственное – 1 %, вода – 84–85 %.

Применение бареттных фундаментов при реконструкции плавильного цеха ЕЗФ позволило избежать больших затрат трудовых ресурсов и остановки производства. Цех на указанных фундаментах эксплуатируется до настоящего времени нормально.

Серьёзные, сложные и масштабные работы проведены в Киеве, где баретты применены в комбинированной конструкции плитного фундамента при строительстве 46-этажной офисной башни высотой 192 м [4]. Здание расположено у подножия 30-ти метрового склона, для удержания которого устраивалась подпорная стена из буронабивных свай диаметром 0,82 м вразрядку, закреплённых несколькими рядами анкеров в грунте. На разведанной глубине площадки строительства до 70 м встречены отложения четвертичной, неогеновой и палеогеновой систем: супеси лессовидные, мергельная глина, суглинки и мелкие пески. На площадке строительства было произведено четыре испытания таких свай: два статической вдавливающей нагрузкой до 8800 кН и два статической выдёргивающей нагрузкой, результаты которых использованы для проектирования и применения бареттных фундаментов.

Суммарные нагрузки на фундамент башни составляют 2200 МН при площади круглой фундаментной плиты около 2000 м². Плита принята опирающейся на 64 баретты размером в плане 2,8×0,8 м, возводимых по технологии одной за-

хватки стены в грунте. Длина бареттов (глубина заложения) составила 33 м с опиранием на мелкие пески. Предварительно был проведен расчёт с помощью трёхмерной модели методом конечных элементов. Моделирование проводилось на основе величин, полученных при решении обратной задачи, исходя из того, что полученные

при испытании свай диаметром 0,82 м результаты применены к бареттам размерами 2,8×0,8 м. Моделировалась совместная работа плитного фундамента на бареттах и напряжённо-деформируемого состояния грунтового массива. Отдельный расчёт каждой баретты не производился.

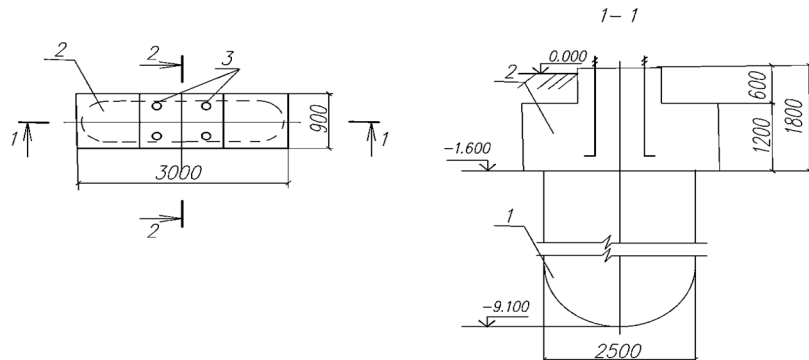


Рис. 2. Фундамент из одиночного баретта:

1 – баретта; 2 – ростверк; 3 – болт анкерный; сечение 2-2 приведено на рис. 3

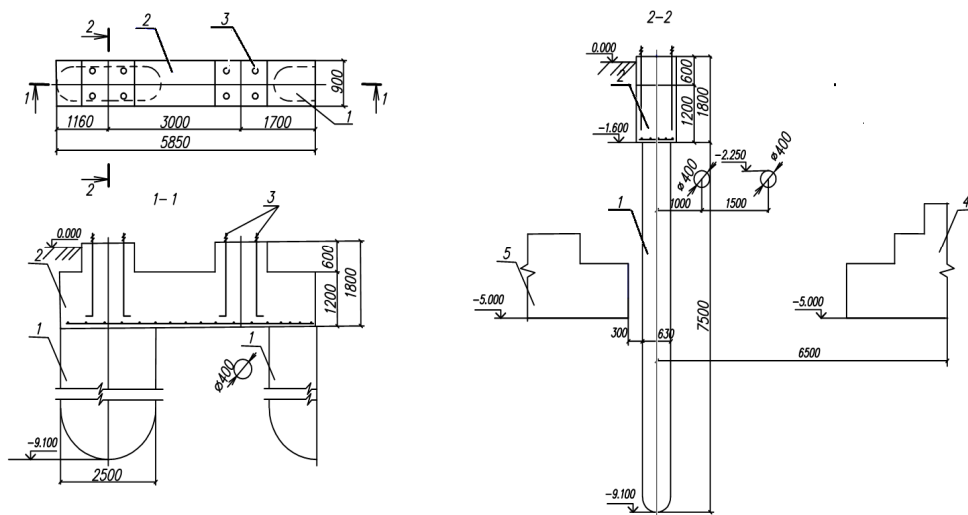


Рис. 3. Фундамент из спаренных бареттов:

1 – баретта; 2 – ростверк; 3 – болт анкерный; 4 – фундамент существующего цеха; 5 – фундамент газоотсасывающей станции; 6 – существующие трубопроводы

По результатам проведенных расчётов выявлено, что 88 % нагрузок передаётся на баретты и 12 % – на грунтовый массив под фундаментной плитой. Нагрузка на крайние баретты согласно расчётам 41-44 МН, на внутренние баретты – 30-31 МН. Это соответствует типичному поведению крайних цилиндрических свай комбинированного свайно-плитного фундамента [5]. Расчётные значения давления под фундаментной плитой находятся в большинстве областей ниже 200 кН/м^2 и достигают около 400 кН/м^2 по краю башни. Расчётное давление под подошвой (торцом) для наружных бареттов в среднем составляет около $5 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2$, а для внутренних бареттов – $4 \cdot 130 \text{ кН/м}^2$.

Трение по боковой поверхности баретты возрастает с глубиной и достигает 180 кН/м^2 для наружных бареттов и 150 кН/м^2 для внутренних бареттов. На высоте 1/5 общей длины от нижнего торца баретты трение по боковой поверхности уменьшается из-за мобилизуемого сопротивления под нижним концом (торцом) баретты. Использование проведенных исследований позволило ограничиться использованием минимального количества бареттов вместо значительного числа буронабивных свай.

Для контроля устойчивости и проверки расчётов высотной башни проводится мониторинг работы конструкции фундамента. В частности, три тензометрических датчика установлены под фундаментной плитой, чтобы измерять напря-

жение в грунте под подошвой. Кроме того, измерения проводятся для самой нагруженной внешней баретты и слабонагруженной баретты внутри ядра с помощью датчиков давления (месдоз) на уровне сопряжения головы баретты и фундаментной плитой. Эти баретты также оснащены тензодинамометрами по длине на трёх измерительных уровнях.

Выводы. Использование бареттных фундаментов позволяет в ряде случаев выходить из сложных технических ситуаций при реконструкции и новом строительстве зданий и сооружений при сокращении трудозатрат и уменьшении расхода материалов. Это выявлено при строительстве конкретных жилых и промышленных объектов. При расчёте несущей способности бареттов реально применять результаты испытаний натурных буронабивных свай. Полученные данные по результатам моделирования результатов испытаний несущей способности буронабивных свай, подтверждают возможность восприятия более высоких нагрузок бареттными фундаментами, чем это принято по СНиП 2.02.03-85 [1]. Анализ результатов тензометрических измерений и мониторинг работы фундаментной плиты башни будут являться основополагающим фактором для усовершенствования

знаний для строительства зданий и сооружений на бареттных фундаментах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свод правил СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
2. Свод правил СП 45.13330.2012. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87.
3. Рыбников А.М., Першин В.Г. Возведение фундаментов-бареттов в сложных условиях реконструкции плавильного цеха Ермаковского завода ферросплавов // Экспресс-информация. Серия: Промышленное строительство/ Алма-Ата: Изд-во КазЦНТИС. 1991. № 1. 5 с.
4. Адикаев В.А., Катценбах Р., Галинский О.М., Дунаевский Р.А. Комбинированный свайно-плитный фундамент с применением баретт // Жилищное строительство. 2009. № 7. С 24-27.
5. Katzenbah R., Hoffmann H., Vogler M., Moormann Ch. Costoptimized foundation systems of high-rise structures, based on the results of actual geotechnical research // Proc. International Conference «Trends in Tall Building – Tendenzen im Hochhausbau», September 5-7. 2001. Frankfurt am Main. P.421–443.

Rybnikova I.A, Rybnikov A.M EMPLOYMENT OF BARETTE FOUNDATIONS

One of the well-known technique is employment of the wall in the ground in the form of a deep trench filled with a thixotropic stabilizing fluid. It would be logical to employ a flat pile construction performed in one step of a diaphragm wall instead of a cylindrical bored pile construction. With the same cross-sectional area of a round pile the lateral surface area of the flat pile can be greater in 1,2 ... 1,5 times and consequently can have an increased bearing capacity due to the frictional forces along the side surface. This construction was named barette and foundations with employment of barettes were named barrette foundation by analogy with the pile foundation. The calculation of bearing capacity of bored piles is proposed to use in relation to the calculation of flat piles. The barrette foundations were employed in the reconstruction of the smelter shop № 4 of Ermakovskiy Ferroalloy Plant as well as of the high-rise building in Kiev. As a result labor costs was reduced as well as the cost of zero stage of the building. Further employment of barette foundations on a wider scale requires more research including the use of the strain-measuring equipment (a strain gauge) during the tests of barettes as well as the improvement of the methods of calculation of their bearing capacity.

Key words : flat pile , diaphragm wall , the side surface , barette , barette foundations, bearing capacity .

Рыбникова Ирина Александровна, старший преподаватель.

Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова, кафедра гуманитарных и естественнонаучных дисциплин.

Адрес: Россия, 353915, Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, д. 75

Рыбников Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник.

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, кафедра «Подъёмно-транспортные машины и комплексы».

Адрес: Россия, 353918, Краснодарский край, г. Новороссийск, пр. Ленина, д. 93

E-mail: a.ribnikov@novoroshkhp.ru