

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

doi: 10.51639/2713-0576_2022_2_1_5

УДК 624.15.04

ГРНТИ 67.11.29

Из опыта испытаний буронабивных свай большого диаметра на различные виды нагрузок в шлаковых отвалах металлургического производства^{1*} Рыбников А. М., ² Рыбникова И. А., ² Цаллагов С. Ч.¹ ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 353918, Россия, Новороссийск, пр. Ленина 93² НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, 353919, Россия, Новороссийск, Мысхакское шоссе 75email: * a.ribnikov@novoroskhp.ru, rybnikova-i-a@nb-bstu.ru, s.tsallagov@novoroskhp.ru

Рассмотрена возможность устройства буронабивных свай большого диаметра в слежавшихся шлаковых отвалах металлургического производства Магнитогорского металлургического комбината. Проведены испытания 13 свай диаметром 1 м длиной от 12 до 21 м на действие вертикальной вдавливающей, горизонтальной и выдёргивающей нагрузками с использованием испытательных стендов. Для испытаний вдавливающей нагрузкой большой величины запроектирован и изготовлен специальный анкерно-упорный стенд с пригрузом. По результатам испытаний определены фактические несущие способности этих свай в шлаковых отвалах на действие различных видов нагрузок. Полученные результаты использованы при проектировании и устройстве фундаментов кислородно-конверторного цеха Магнитогорского металлургического комбината.

Ключевые слова: шлаковые отвалы, буронабивные сваи, статические испытания, испытательный стенд, прогибомер, нагрузка, несущая способность.

Введение

В России в шлаковых отвалах накоплено порядка 800 млн. тонн шлаков (отходов чёрной и цветной металлургии). В настоящее время ежегодно образуется более 95 млн. тонн шлаков, в том числе около 79 млн. тонн шлаков доменного, сталеплавильного, литейного и ферросплавного производств, часть из которых перерабатывается [1]. Иногда при реконструкции и расширении действующих металлургических предприятий из-за технологических и коммуникационных особенностей возникает необходимость строительства на шлаковых отвалах. Это исключает использование свободных земельных площадей и позволяет обеспечить оптимальные технологические связи с действующими производствами предприятий. Известно, что шлаковые отвалы металлургического производства с течением времени в определённых условиях разлагаются или пучинятся [2]. Поэтому считается, что они являются ненадёжным основанием для строительства сооружений.

В таких условиях встаёт вопрос о выборе рациональных типов фундаментов, как под тяжёлые основные сооружения (цеха, блоки), так и под лёгкие вспомогательные здания (АБК, склады). Такая проблема возникла, например, при строительстве комплекса кислородно-конверторного цеха Магнитогорского металлургического комбината. Учитывая особенности шлаковых отвалов как оснований сооружений (малая изученность, мощные, неоднородные и неравномерные по высоте отсыпки и др.), оптимальной конструкций

фундаментов указанного цеха являлись бы свайные фундаменты из буронабивных свай. Технология устройства таких свай (в том числе большого диаметра) в различных грунтовых условиях отработана, особенности их работы хорошо изучены [3–6]. В России имеется богатый опыт применения буронабивных свай на крупных и ответственных стройках. Удельный вес фундаментов из буронабивных свай в целом по стране достигает 10%. В то же время в США, ФРГ и Японии применение таких свай составляет 40...60% от всего объёма используемых свай [7], что указывает на резервы дальнейшего изучения и развития свайного фундаментостроения в различных грунтовых условиях в стране, в том числе из буронабивных свай большого диаметра (начиная от 0,8 м) в шлаковых отвалах металлургического производства.

К основным преимуществам буронабивных свай большого диаметра относятся:

- отсутствие влияния зимнего периода на темпы земляных (бурильных) работ;
- использование в качестве несущего слоя прочных грунтов, залегающих на большой глубине;
- возможность передачи на одну сваю вертикальной нагрузки до 10000 кН;
- восприятие значительных горизонтальных нагрузок стволом большого диаметра;
- армирования ствола только в верхней части, так как в нижней части отсутствуют моментные и горизонтальные силы.

Следует отметить, что в этом конкретном случае рассматривался также вариант применения известной конструкции бареттов (плоских набивных свай) – глубокие прямоугольной формы выемки в грунте, под которые изготавливаются плоским напорным грейфером [8–11]. Однако по ряду организационных причин выбор был остановлен на буронабивных сваях диаметром 1 м.

Цель и задачи испытаний

Известно, что одним из рациональных видов фундаментов при строительстве и реконструкции объектов металлургических предприятий являются буронабивные сваи большого диаметра [12]. Для практического применения свайных фундаментов в малоизученных грунтах, к которым относятся шлаковые отвалы металлургического производства, требуется исследование их работы в естественных условиях. Наиболее достоверными являются результаты натурных испытаний свай. Цель проведения испытаний буронабивных свай в шлаковых отвалах – получить фактические результаты несущей способности свай на действие вертикальной вдавливающей, горизонтальной и выдёргивающей нагрузок в соответствии с ГОСТ 5686-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями». При этом решались задачи по отработке изготовления свай в шлаковых отвалах и проектировании и изготовлении испытательных пригрузочного стенда для испытания свай значительной статической вдавливающей нагрузкой. Всего было испытано 13 свай диаметром 1 м длиной от 12 до 21 м на разные виды нагрузок.

Основная часть

Поверхность площадка строительства комплекса кислородно-конверторного цеха Магнитогорского металлургического комбината покрыта многолетними отвалами металлургического производства – доменными и мартеновскими шлаками с включениями металлолома, литья, формовочной земли, строительного мусора. Мощность шлаковых отвалов ($E = 50$ МПа, $\gamma_0 = 2,0$ г/см³) составляла до 10...20 м. Толща шлаков после планировки площадки и отрывки котлована под испытательный полигон стала составлять в среднем 5...6 м. Природные грунты, залегающие под шлаками, сложены сверху вниз из почвенно-растительного слоя (0,5 м), суглинка и глин аллювиального и делювиального происхождения

(1...4 м), галечнико-песчано-гравийных отложений (3...5 м), коренных пород туфов и порфиритов (10 м). Уровень грунтовых вод располагался на глубине 1,5...2 м от планировочной отметки земли. Воды не агрессивны к бетону, изготовленному на основе сульфатостойкого портландцемента.

Блок первой очереди строительства представлял собой сооружение с размерами в плане 366×372 м и максимальной высотой в конверторном пролёте 79 м. По расчётам проектировщиков вертикальные нагрузки на колонны стального каркаса объектов комплекса, в зависимости от назначения, составили 800...57000 кН, горизонтальные – 600...5300 кН, моментные – 900...23000 кН·м. Так как нормативные документы по проектированию и устройству фундаментов на шлаковых отвалах отсутствуют было принято решение пройти слои шлаков и слабых грунтов буронабивными сваями до прочных коренных пород. Для этого предварительно была определена возможность и отработана технология их устройства в натуральных условиях. Целью проведения испытаний свай на площадке кислородно-конвертерного цеха являлось определение их несущей способности при действии вдавливающей, горизонтальной и выдёргивающей нагрузок.

Для бурения скважин использовалась бурильная грейферная установка «BADE» производства фирмы «Тейбол» (Германия). Конструкция рабочего органа машины подбиралась с учётом рекомендаций [12]. Всего на четырёх экспериментальных полигонах Мостоотрядом № 105 (Магнитогорск) были пробурены 24 скважины диаметром 1 м под опытные и анкерные сваи длиной от 12,5 до 21,3 м. Стенки скважин для предотвращения от оплывания крепились стальными обсадными трубами. Разрыхлённый и осыпавшийся грунт в забоях скважин не уплотнялся, а зачищался грейфером бурильной установки. Скважины армировались на всю глубину армокаркасами из 18 стержней арматуры диаметром 28 мм класса А-500, и бетонировались бетоном класса В25 методом вертикально перемещаемой трубы (ВПТ).

Для испытаний вдавливающей нагрузкой был специально запроектирован и изготовлен анкерно-упорный стенд, который представлял собой конструкцию, которая вначале монтировалась из двух стальных пространственных площадок (рис. 1). Затем на стойки площадок укладывались две главные балки и жёстко соединялись с анкерными сваями посредством труб с вырезами для второстепенных балочек. Под главные балки подводилась поперечная упорная второстепенная балка для восприятия усилий от гидродомкратов. В качестве пригруза использовались стальные слитки (слябы), укладываемые как на главные балки, так и на площадки. Стенд был рассчитан на восприятие усилий до 20000 кН. Его высота с пригрузом достигала 10 м (рис. 2).

Вертикальной вдавливающей нагрузкой были испытаны 5 свай, горизонтальной – 6 свай (рис. 3), и выдёргивающей – 2 сваи (рис. 4). Осевые вдавливающие нагрузки создавались тремя гидравлическими домкратами ДГ-500 грузоподъёмностью до 5000 кН, выдёргивающие нагрузки – одним гидродомкратом ДГ-500, горизонтальные нагрузки – гидродомкратом ДГ-200 грузоподъёмностью до 2000 кН.

Давление в домкратах создавалось насосной масляной станцией НСП-400. Реактивные усилия от гидро-домкратов при вдавливающей нагрузке воспринимались четырьмя анкерными сваями и анкерно-упорным стендом. Минимальное расстояние от испытываемой сваи до анкерных свай и между анкерными сваями составляло 4,5 м.

В процессе испытаний свай их перемещения измерялись двумя прогибомерами системы Максимова ПМ-3 с ценой деления шкалы равной 0,1 мм, закреплённых на реперах. По результатам испытаний были построены графики перемещений свай от приложенного вида нагрузки, а по графикам определена их несущая способность на эти виды нагрузок. За несущую способность принималась такая нагрузка, при которой величина перемещений свай оказывалась равной: при вдавливающей нагрузке – 30 мм, горизонтальной – 10 мм, выдёргивающей – 2 мм в соответствии с СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты.

Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85» и СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*».



Рис. 1. Монтаж анкерно-упорного стенда для испытаний свай вдавливающей нагрузкой

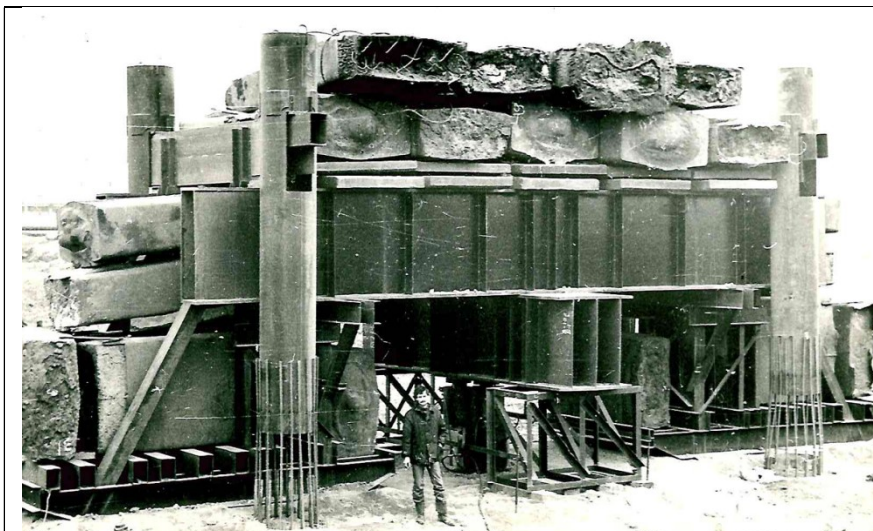


Рис. 2. Смонтированный анкерно-упорный стенд с пригрузом для испытаний свай вертикальной вдавливающей нагрузкой

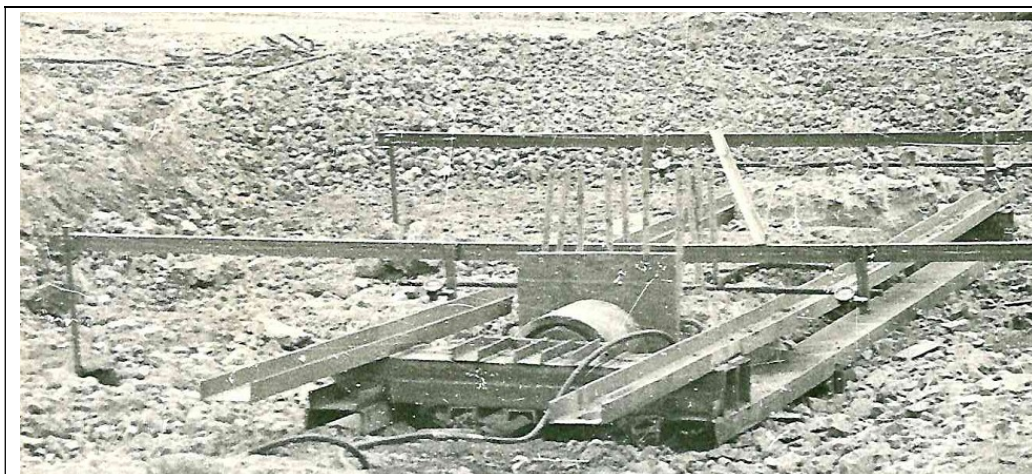


Рис. 3. Испытания свай горизонтальной нагрузкой

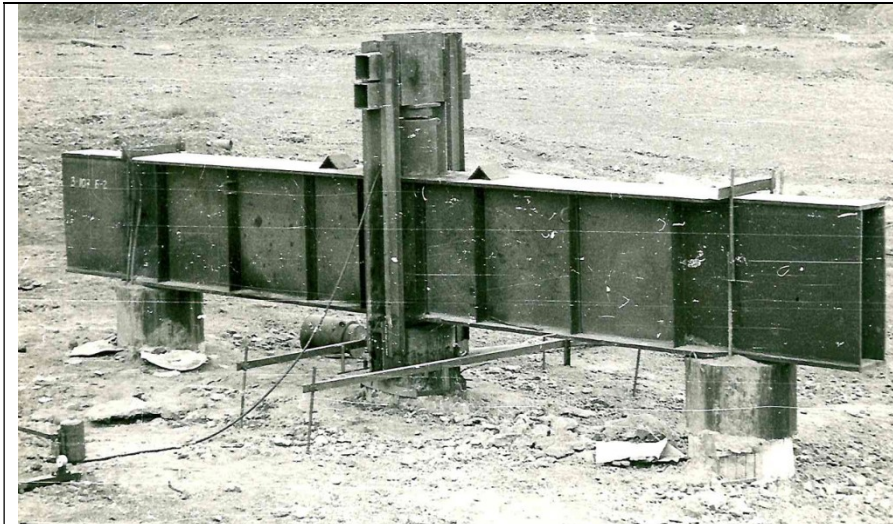


Рис. 4. Испытания свай выдёргивающей нагрузкой

Результаты испытаний

Несущие способности буронабивных свай диаметром 1 м разной длины в шлаковых отвалах металлургического производства Магнитогорского металлургического комбината, определённые по графикам испытаний на вдавливающую нагрузку F , горизонтальную нагрузку $F_{гор}$ и выдёргивающую нагрузку $F_{выд}$, сведены в таблице.

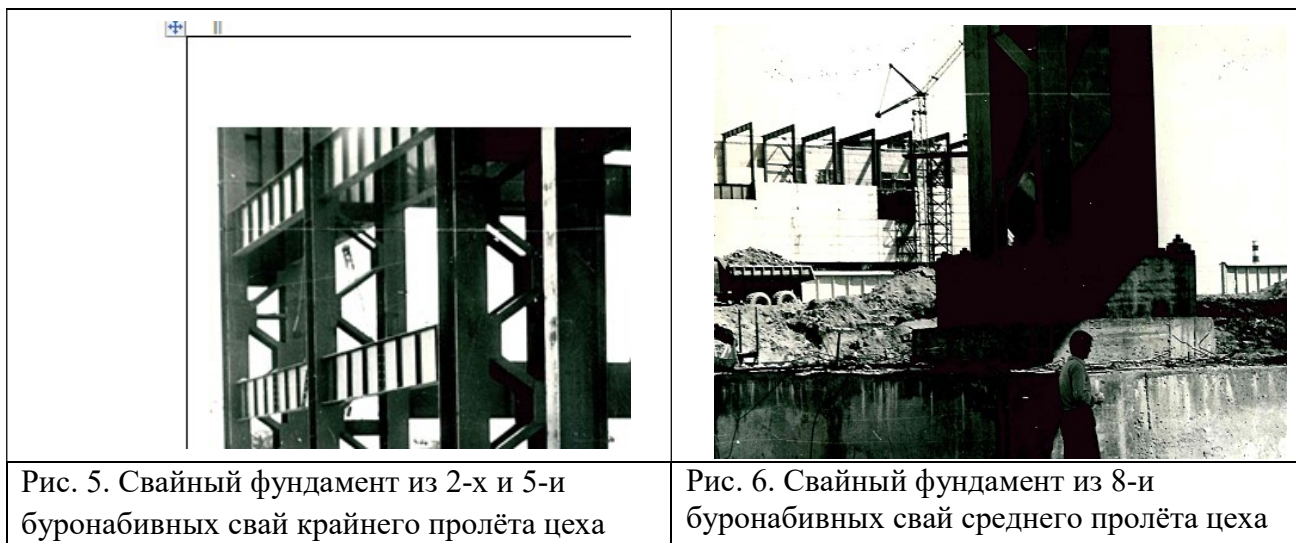
Результаты испытаний буронабивных свай диаметром 1 м статическими нагрузками

Марка опытной сваи	Длина сваи, м	Максимальная нагрузка, приложенная к свае, кН	Перемещение сваи при наибольшей нагрузке, приложенной к свае, мм	Несущая способность свай, кН		
				на вертикальную нагрузку, F	на горизонтальную нагрузку $F_{гор}$	на выдёргивающую нагрузку $F_{выд}$
Вдавливающая нагрузка						
ОС-1	15,1	12000	13,15	12000	-	-
ОС-2	12,5	9750	19,45	9750	-	-
ОС-3	12,6	12000	12,55	12000	-	-
ОС-4	15,4	4500	41,10	3400	-	-
ОС-5	15,2	13500	25,20	13500	-	-
Горизонтальная нагрузка						
ОС-6	17,4	1650	14,10	-	1400	-
ОС-7	16,8	1650	21,01	-	1300	-
ОС-8	16,4	1800	9,35	-	1800	-
ОС-9	17,5	1800	13,65	-	1550	-
ОС-10	19,0	1500	20,05	-	1280	-
ОС-11	18,3	1500	12,25	-	1350	-
Выдёргивающая нагрузка						
ОС-12	19,2	2600	3,65	-	-	2000
ОС-13	21,3	2750	3,45	-	-	2200

Из таблицы видно, что несущую способность буронабивных свай длиной 12 м на вдавливающую нагрузку можно принять равной 9500 кН, а для свай длиной 15 м – 12 000 кН. Низкая несущая способность свай ОС-4 объясняется нарушением сплошности её ствола при бетонировании. При отработке технологии устройства свай произошёл перерыв в её бетонировании по организационно-технической причине с извлечением обсадной трубы. Вероятно, стенки скважины осыпались, и потому сплошность ствола нарушилась. Дальнейшее бетонирование свай производилось без обсадной трубы.

Полученные несущие способности испытанных свай длиной 17...19 м на горизонтальную нагрузку не сильно отличаются друг от друга. Это связано с тем, что нижними концами они жёстко защемлены в коренных скальных породах, и при нагрузке отклоняются по горизонтали свободными консольными частями. Величина отклонения зависит от плотности шлаков, прилегающих к головным частям свай. Поэтому за несущую способность на горизонтальную нагрузку следует принять наименьшее из полученных значений, то есть 1200 кН.

Несущая способность двух испытанных свай на выдёргивающую нагрузку свай практически идентична – с учётом разницы их длины – 19 и 21 м и равна 2000 кН. Приведённые результаты испытаний свай в шлаковых отвалах были использованы при проектировании и возведении свайных фундаментов кислородно-конверторного цеха Магнитогорского металлургического комбината (рис. 5, 6). Возведённый на таких сваях цех эксплуатируется нормально.



Выводы

С помощью бурильно-грейферных установок можно проходить шлаковые отвалы металлургического производства и устраивать в них сваи диаметром до 1 м с опиранием на прочные грунты. Изготовленные в таких условиях буронабивные сваи обладают высокой несущей способностью на действие вертикальной, горизонтальной и выдёргивающей нагрузок.

Применение таких свай в шлаковых отвалах Магнитогорского металлургического комбината позволило при строительстве кислородно-конверторного не занимать дополнительно свободную территорию и приблизить цех к промышленной к инфраструктуре комбината. Дальнейшие исследования шлаковых отвалов металлургического производства в качестве оснований зданий и сооружений, в том числе для свайных фундаментов из буронабивных свай большого диаметра, необходимо продолжить.

Список литературы

1. Шадрунова И. В., Колодежная Е. В. Перспективы применения центробежно-ударной техники для переработки металлургических шлаков // Магнитогорск: МагНГТУ. Урал-Омега, 2008. 7 с.
2. Зоря В. Н. Исследование техногенных отходов чёрной металлургии, в том числе отходов от обогащения и сжигания углей, и разработка технологии их переработки: дис. канд. техн. наук. Новокузнецк: Сибирский гос. индустр. ун-т, 2015. 207 с.
3. Бахолдин Б. В., Светинский Е. В., Остров В. И. Современные конструкции свай и ростверков (Обзор). М.: ЦНТИ по гражд. стр-ву и арх-ре, 1973. 74 с.
4. Бойко Н. В. Технология и организация устройства свайных фундаментов: автореф. дис. док. техн. наук. Москва, 1990. 40 с.
5. Бойко Н. В., Кадыров А. С., Харченко В. В., Щелконогов В. Н. Технология, организация и комплексная механизация свайных работ. М.: Стройиздат, 1985. 303 с.
6. Филатов А. В., Швец Б. Я. Применение свай-колонн на строительстве Карагандинского металлургического комбината // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1971. № 2. С. 17–18.
7. Методические рекомендации по возведению буровых опор-колонн для зданий каркасного типа // Киев: НИИСП Госстроя УССР, 1976. 79 с.
8. 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: КазЦНТИС, 1991. № 1. 5 с.
9. Адикаев В. А., Катценбах Р. В., Галинский О. М., Дунаевский Р. А. Комбинированный свайно-плитный фундамент с применением баретт // Жилищное строительство, 2009. № 7. С. 24–27.
10. Рыбникова И. А., Рыбников А. М. Опыт применения бареттных фундаментов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова, 2016. № 4. С. 23–27.
11. Знаменский В. В., Бахолдин Б. В., Парфёнов Е. А., Мусатова М. В. Исследование несущей способности баретт для 56-этажного жилого здания // Основания, фундаменты и механика грунтов, 2019. № 1. С. 2–6.
12. Филатов А. В. Развитие теории и практики реконструкции фундаментов и подземных сооружений металлургических предприятий: автореф. дис. док. техн. наук. Санкт-Петербург, 1992. 45 с.
13. Харченко В. В. Выбор конструкций рабочих органов бурильных машин для образования скважин большого диаметра в различных грунтовых условиях // Тезисы докладов республиканского совещания (24–26 мая 1989 г.) Устройство оснований и фундаментов в региональных грунтовых условиях Казахстана / Алма-Ата: Казстройтехпроект Госстроя КазССР, 1989. С. 44–45.

From the experience of testing large diameter bored piles for various types of loads in slag dumps of metallurgical production

¹ Rybnikov A. M., ² Rybnikova I. A., ² Tsallagov S. Ch.

¹ GMU named after adm. F. F. Ushakov, 353918, Russia, Novorossiysk, Lenin Ave. 93

² NB BSTU named after V.G. Shukhov, 353919, Russia, Novorossiysk, Myskhakskoe shosse 75

The possibility of installing large-diameter bored piles in the caked slag heaps of the metallurgical production of the Magnitogorsk Iron and Steel Works is considered. 13 piles with a diameter of 1 m

and a length from 12 to 21 m were tested for the effect of vertical indentation, horizontal and pulling loads using test benches. A special anchor-thrust stand with a preload has been designed and manufactured for testing with a large pressing load. According to the test results, the actual bearing capacity of these piles in slag heaps for the action of various types of loads has been determined. The results obtained were used in the design and construction of the foundations of the oxygen converter shop of the Magnitogorsk Metallurgical Combine.

Keywords: slag heaps, bored piles, static tests, test bench, deflection meter, load, bearing capacity.