



## ЗАБИВНЫЕ СВАИ ИЗ БЕТОНА НА ШЛАКОВОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ЩЕБНЕ

**А. А. Бартоломей** – чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор ПГТУ, г. Пермь.

**Б. С. Баталин** – д-р техн. наук, профессор ПГТУ, г. Пермь.

**С. В. Брызгалов** – аспирант (кафедра ОФим ПГТУ), г. Пермь.

Рассматриваются результаты испытания забивных свай, изготовленных из бетона с использованием производственных отходов Чусовского металлургического комбината – металлургического шлакового щебня. Данные испытаний свидетельствуют о том, что сваи из бетона на шлаковом щебне не уступают по прочности традиционным сваям. Применение таких свай особенно важно с точки зрения утилизации отходов металлургической промышленности в строительных целях.

Пришло время, когда весь мир переоценивает опыт предыдущих лет. Человечество всерьез задумалось об экологии родной планеты и о том, как беспечно, а порой и неразумно, используются ее невозможные богатства. Ресурсы планеты не безграничны, поэтому главной задачей человечества на ближайшее столетие является замена природных ресурсов искусственными, не уступающими им по качествам. В Японии, Великобритании, Германии и США уже ведутся работы по замене материалов. Не отстает от этих стран и Россия. Если Западная Европа и Япония испытывают острую нехватку природных материалов для строительства, то в России с ее огромными природными ресурсами эта проблема не так актуальна. Однако Россия сталкивается с не менее важной проблемой – утилизацией отходов промышленности. В связи с этим вопрос использования промышленных отходов в строительстве для России очень важен.

На территории Пермской области находится Чусовской металлургический комбинат, на площадях которого скопилось 150 млн тонн производственных отходов – металлургического шлака. Комбинат имеет установки по дроблению шлака и получению шлакового щебня различных фракций. Кафедрой строительных материалов ПГТУ были проведены

испытания этих фракций. В ходе работы были выявлены следующие составы и показатели.

Химический состав шлака, %: MgO – 12,51, CaO – 30,98, TiO<sub>2</sub> – 9,07, SiO<sub>2</sub> – 25,06, MnO – 0,53, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 15,41, FeO – 1,93, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,21, сера сульфатная – 1,13...0,95 (в пересчете на SO<sub>3</sub>), сера сульфидная – 0,13...0,1 (в пересчете на SO<sub>3</sub>).

Минералогический состав шлака, %: псевдоволластонит – 2,5, анортит CaO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2SiO<sub>2</sub> – 2,5, геленит 2CaO MgO SiO<sub>2</sub> – 10, монтичелит CaO MgO SiO<sub>2</sub> – 10, мервинит – 3CaO MgO 2SiO<sub>2</sub> – 10, ранкинит 3CaO 2SiO<sub>2</sub> – следы, мелилит (твердый раствор 2CaO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> SiO<sub>2</sub> – 15%+2CaO MgO 2SiO<sub>2</sub> – 85%) – 65.

Зерновой состав шлаков мелкой и крупной фракций приведен в табл. 1 и 2 соответственно.

Прочность щебня и шлака по ГОСТ 5578–94 определяли по методике ГОСТ 8269.0–97 по потере массы при раздавливании в цилиндре D75 мм. Потеря массы для мелкой фракции составила 11%, что соответствует марке по дробимости М800, для крупной – 16%, что соответствует марке по дробимости М600.

Была установлена средняя плотность зерен 2,46 г/см<sup>3</sup>, насыпная плотность мелкой фракции – 1,44 г/см<sup>3</sup> и крупной фракции – 1,42 г/см<sup>3</sup>. Средняя активность естественных радионуклидов – 53,67 Бк/кг. Испытания показали, что шлаковый щебень, выпускаемый Чусовским металлургическим комбинатом, ни в чем не уступает природному щебню.

© А. А. Бартоломей, Б. С. Баталин, С. В. Брызгалов, 2003

Internet: [www.georec.spb.ru](http://www.georec.spb.ru)

Но цена на шлаковый щебень в два раза ниже, чем на природный. На основании полученных результатов предложено использовать шлаковый щебень в производстве железобетонных изделий, в том числе забивных свай сечением 30×30 см. На кафедре оснований, фундаментов и мостов был разработан план испытаний забивных свай из бетона на шлаковом щебне. Выполнен подбор состава бетона, применяемого в производстве свай, где в качестве крупного заполнителя использован шлаковый щебень. Образцы марки М200 показали прочность на сжатие 22,7 МПа, на растяжение при изгибе – 5,4 МПа и марки М 300 на сжатие – 32,8 МПа, на растяжение при изгибе – 6,3 МПа, что соответствует заданным маркам бетона.

На одном из заводов ЖБК г. Перми проводились работы по сравнению состава бетона М300, применяемого ежедневно на заводе при производстве свай, с бетоном той же марки только на шлаковом щебне. За основу брались материалы, применяемые на данном ЖБК. Песок, цемент и вода в обоих составах были одинаковы, различным был только щебень. После 28-суточного срока твердения образцы бетонов – кубы 10×10×10 см были испытаны на прочность при сжатии. Образец на обычном природном щебне показал прочность 41,5 МПа, образец на шлаковом щебне – 46,0 МПа. Стоимость же 1 м<sup>3</sup> бетона на шлаковом щебне оказалась на 390 рублей ниже, чем на природном щебне.

Для дальнейшего исследования возможности применения шлакового щебня в производстве забивных свай проводились полевые динамические испытания. На том же ЖБК были изготовлены опытные образцы свай на шлаке длиной 8 и 11 м. Чтобы наилучшим образом рассмотреть работу опытных свай на ударное воздействие, была нужна строительная площадка с наиболее тяжелыми грунтовыми условиями. Сваи С80-30-6.1п (8 м) были забиты на строительной площадке по ул. Ким, 44 г. Перми копровой установкой СП-49В с молотом типа С330, с массой ударной части 2,5 т. Инженерно-геологические условия в месте забивки:

1) насыпной грунт из строительного мусора с битым кирпичом, щебнем, кусками бетона, глубина слоя – 0,3 м от поверхности;

2) суглинок легкий, пылеватый и песчаный, полутвердый и тугопластичный с консистенцией 0,49, с залеганием от 0,3 до 2,5 м;

3) гравийный грунт с суглинком твердым до 30%, с коэффициентом пористости 0,33%, с залеганием от 2,5 до 4,2 м;

4) суглинок тяжелый, пылеватый, твердый, с коэффициентом пористости 0,79%, с залеганием от 4,2 до 7 м.

Физико-механические характеристики площадки по ул. Ким, 44 приведены в табл. 3. Испытания опытной сваи при забивке показали следующее:

при глубине забивки до 5,50 м средний отказ сваи составил 0,46 см;

при забивке до 6,37 м отказ составил 0,27 см, общее количество ударов от начала и до конца забивки – 315.

После 16 сут отдыха свая была добита. При трех ударах средний отказ составил 0,1 см, что соответствовало расчетной допустимой нагрузке 87 т и предельной нагрузке – 121 т. Разрушений в теле сваи не обнаружено.

Параллельно с забивкой свай на шлаковом щебне велась работа по забивке обычных свай сечением 30×30 см из бетона на природном щебне.

Данные забивки обычных свай на площадке по ул. Ким, 44:

1) свая №46 С100-30-6.1т (10 м) была забита на глубину 8 м. При забивке до 3 м средний отказ сваи составил 0,83 см, при забивке до 5 м – 0,2 см, при забивке до 8 м – 0,1 см. Общее количество ударов от начала и до конца забивки – 280. После забивки больших повреждений голова сваи не имеет, есть небольшие сколы бетона;

2) свая №12 С90-30-6.1т (9 м), общая глубина забивки – 6,98 м. При забивке до 3 м средний отказ составил 0,62 см, при забивке до 5 м – 0,18 см, при забивке до 6,98 м – 0,08 см. Общее количество ударов от начала и до конца – 256. После забивки голова сваи повреждений не имеет.

На строительной площадке по ул. Макаренко, 6 были также забиты экспериментальные сваи на шлаковом щебне С110-30-8.1 (11 м). Инженерно-геологические условия площадки:

1) глина легкая, пылеватая, полутвердая, с консистенцией 0,5...0,7, с залеганием от 0 до 1,3 м;

2) суглинок тугопластичный от 1,3 до 3,3 м.

3) суглинок мягкопластичный от 3,3 до 11,2 м.

Испытания свай проводились молотом С330 с массой ударной части 2,5 т. Были получены следующие результаты:

при забивке свай на 10,6 м средний отказ составил 5 см;

через 30 сут проведена добивка свай до 11 м, средний отказ составил 0,82 см;

через 46 сут снова проведена добивка свай 5 ударами, отказ от одного удара составил 0,2 см;

через 60 сут проведена добивка 3 ударами, средний отказ составил 0,15 см.

Это показало, что сваи выдерживают расчетную допустимую нагрузку 85 т, предель-

ную – 119 т.

При последней добивке свай на площадке по ул. Макаренко, 6 не использовались деревянные прокладки. Поэтому бетон свай был частично разрушен с одного края на глубину защитного слоя. Площадь разрушения сечения ударной части составила 10%, что не превышает норм, установленных ГОСТ 5686–76.

Данные забивки обычных свай на площадке по ул. Макаренко, 6:

1) свая №205 С110-30-8.1 (11 м) забита на 9,97 м, средний отказ – 3,75 см. После отдыха в 14 сут проведена добивка 5 ударами, средний отказ – 1,33 см. После отдыха в 35 сут свая была вновь добита 5 ударами, средний отказ – 0,9 см. Разрушений в голове сваи после добивки не обнаружено;

2) свая №26 С110-30-8.1 (11 м) забита до 10,1 м, средний отказ составил 3 см. После отдыха в 12 сут свая была добита 5 ударами, средний отказ – 1,3 см. После последующего

Таблица 1

Остатки на ситах	Размеры отверстий сит, мм					Прошло через сито 1,25
	20	10	5	2,5	1,25	
Частные, г	260	2535	2390	1500	510	2740
Частные, %	2,62	25,52	24,06	15,1	5,13	27,58
Полные, %	2,62	28,14	52,2	67,3	72,43	100

Таблица 2

Остатки на ситах	Размеры отверстий сит, мм				Прошло через сито 5
	40	20	10	5	
Частные, г	6060	12855	1575	130	5
Частные, %	29,4	62,3	7,6	0,7	0
Полные, %	29,4	91,7	99,3	100	100

Таблица 3

Физико-механические показатели	Наименование грунта		
	Суглинок легкий	Гравийный грунт	Суглинок тяжелый
Влажность природная	0,2	0,16	0,26
Плотность природная, г/см <sup>3</sup>	2,02	2,2	1,9
Плотность сухая, г/см <sup>3</sup>	1,68	2,0	1,5
Плотность частичная, г/см <sup>3</sup>	2,68	2,67	2,7
Пористость, %	37,28	24,7	44,26
Коэффициент пористости	0,59	0,33	0,79
Степень влажности	0,9	0,6	0,89
Граница текучести	0,25	0,27	0,49
Граница раската	0,15	0,16	0,33
Число пластичности	0,09	0,11	0,15
Показатель текучести	0,49	Менее 0,0	Менее 0,0
Водонасыщенность влажная, %	22	20	29

Internet: [www.georec.spb.ru](http://www.georec.spb.ru)

отдыха 26 сут вновь проведена добивка 5 ударами, средний отказ – 0,66 см. Разрушений в голове сваи после добивки не обнаружено.

Полученные данные показали, что сваи из бетона на шлаковом щебне несколько не уступают по прочности сваям из бетона на природном щебне, а сам шлаковый щебень может применяться в производстве различных железобетонных изделий. Конечно, чтобы хорошо изучить и понять работу свай на шлаковом щебне, недостаточно полученных данных. Поэтому в настоящее время исследования свай на шлаковом щебне продолжают. На кафедре оснований, фундаментов и мостов была разработана программа по дальнейшему изучению свай из бетона на шлаковом щебне. Ведутся испытания образцов бетона на шлаковом щебне на морозостойкость и коррозионную стойкость.

Предстоит провести полевые динамические испытания свай на шлаке длиной от 5 до 12 м в следующих инженерно-геологических условиях:

- 1) в однородных глинистых мягкопластичных и тугопластичных грунтах с консистенцией 0,40...0,75;
- 2) в пылеватых песках с коэффициентом пористости более 0,65%, в мелких песках – более 0,60%, в песках средней крупности – более 0,57%;
- 3) в сложных грунтовых условиях с прослойками: глинистых грунтов полутвёрдой консистенции, различной мощности и глубины залегания, а также гравелистых песков различной крупности и мощности.

В ближайших планах испытание тензосвай на шлаковой основе с замером напряжения при подъеме, складировании и в процессе забивки. Также предстоит провести испытания свай на боковое давление.

По итогам работы планируется разработка временных рекомендаций по применению свай из бетона на шлаковом щебне, а в будущем предполагается оформить дополнение к СНиП 2.02.03–85 «Свайные фундаменты».

### Список литературы

1. ГОСТ 5578–94.
2. ГОСТ 8269.0–97.
3. ГОСТ 30108–94.
4. Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006–86).
5. Горшков В. С., Александров С. Е. Комплексная переработка и использование шлаков в строительстве. М.: Стройиздат, 1980.
6. Дворкин Л. И., Пашков И. А. Строительные материалы из отходов промышленности. Киев, 1989.
7. СНиП 2.02.03–85. Свайные фундаменты.
8. СНиП 2.03.01–84. Бетонные и железобетонные конструкции.
9. Бартоломей А. А., Брызгалов С. В. Об использовании шлакового металлургического щебня в изготовлении железобетонных свай вместо щебня из природного материала // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала: Сб. науч. тр. Пермь, 2002.