



## БЕСЦЕМЕНТАЯ ЗАКЛАДОЧНАЯ СМЕСЬ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

**Е.А. Ермолович**

*Белгородский  
государственный  
университет,  
Россия, 308015, г. Белгород,  
ул. Победы, 85*

*E-mail:  
elena.ermolovich@mail.ru*

Обоснована возможность замены цемента при изготовлении твердеющих смесей отходами. Приведены результаты моделирования возможности замены цемента кислым доменным гранулированным шлаком III сорта. Показано влияние механической активации материала на прочность смесей с учетом их реологических свойств. Обосновано применение суперпластификатора.

Ключевые слова: твердеющие смеси, отходы обогащения железистых кварцитов, кислый доменный гранулированный шлак, суперпластификатор, флокулянты.

По оценкам Центра стратегических исследований МГТУ, доля России в мировой добыче минерального сырья приближается к 10%, а доля добычи черных и ферросплавных минералов составляет 6% [1]. Большая часть добываемого минерального сырья поступает на обогащение. Образующиеся при этом отходы по мере накопления и хранения становятся одним из наиболее значительных факторов антропогенных изменений окружающей среды.

При получении 1 т металла, содержащегося в продуктах обогащения, образуется от 30 до 100 т хвостов, на их удаление и хранение затрачивается в среднем от 5 до 8% стоимости производимой продукции. В последующее производство вовлекаются в настоящее время не более 20% извлекаемых из недр нерудных горных пород и около 10% отходов обогащения. В объемных показателях в черной и цветной металлургии отходы только горного производства в виде твердых горных пород составляют более 210, а хвостов обогащения – 140 млн. м<sup>3</sup>/год [2]. Эта масса складывается в отвалах и хвостохранилищах, которые занимают тысячи гектаров плодородных земель и являются источниками загрязнения окружающей среды.

Утилизация техногенных отходов в составе смесей для закладки выработанного пространства позволяет снизить негативное влияние горнометаллургического производства. Анализ мирового опыта показывает, что до 35% рудников применяют системы разработки с закладкой, при этом твердеющая закладка осуществляется на основе цементного вяжущего [3]. Отходы обогащения используют на 85 рудниках Канады, Австралии, США, Ирландии, Финляндии, Швеции, Японии и других стран с годовой добычей около 64 млн. т. При этом 67% закладочных материалов представлены обесшламленными хвостами обогащения, 25% – породами, 7% – песками и шлаками [4].

Дешламация отходов обогащения не только ограничивает количество материала, которое можно использовать для закладочных работ, но и способствует вовлечению в качестве заполнителей природных песков, тем самым нанося экологический ущерб окружающей среде.

Идея использования молотого доменного гранулированного шлака в качестве заменителя цемента в закладочных композитах не нова. Но, как правило, в качестве вяжущего либо используется шлак высокого качества, либо пониженное качество компенсируется активацией цементом. Кроме того, закладочные смеси отличаются от бетонов и растворов повышенным содержанием воды. Это необходимое условие их транспортабельности по трубам и растекания в выработанном пространстве снижает прочность искусственного массива.

Поэтому целью исследований являлось создание бесцементного композита повышенной прочности с заданными реологическими свойствами на основе максимального использования техногенных отходов без дешламации отходов обогащения мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов.



В качестве вяжущего применили только кислый доменный шлак III сорта с коэффициентом качества  $K=1.23$ . Химический состав шлака приведен в табл. 1.

Таблица 1

**Химический состав (%) доменного шлака**

<i>CaO</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>MgO</i>	<i>MnO</i>	Прочие
40.4	42.7	5.4	6.7	0.026	4.78

Первоначально доменный гранулированный шлак измельчался до содержания класса менее 0.071 мм не менее 70% и смешивался с отходами обогащения железистых кварцитов, полученных путем сгущения пульпы флокулянтom Magnafloc 155 фирмы Ciba (Германия) до содержания класса менее 0.071 мм 90%. Реологические параметры закладочной смеси, оцениваемые по осадке конуса «СтройЦНИЛа» и растекаемости на вискозиметре Суттарда, а также прочностной показатель образцов, изготовленных по стандартной методике и выдержанных при нормальных условиях ( $T=20\pm 2^{\circ}C$ ;  $W=95\pm 5\%$ ), не соответствовали нормативным требованиям. А именно отличались пониженной прочностью и потерей подвижности (№ 1 в таблице 2).

Таблица 2

**Результаты испытаний закладочных смесей**

№ п/п	Компоненты закладочной смеси						Растекание, мм	Осадка конуса, см	Предел прочности при сжатии в возрасте 90 суток, МПа	Количество утилизуемых техногенных отходов масс. % на сухое вещество
	Молотый доменный шлак		Отходы обогащения		СП-1, % от шлака	Вода, масс. %				
	масс. %	содержание фракции менее 0.071 мм	масс. %	содержание фракции менее 0.071 мм, %						
1	22	70	54.5	90		23.5	100	10	4.35	98.1
2	22	90	54.5	70		23.5	120	14	3.6	98.1
3	22	90	54.5	90		23.5	100	10	6.8	98.1
4	22	90	54.5	90	0.4	23.4	165	16	7.0	98.1

Для увеличения гидравлической активности шлак молотся до крупности не менее 90% класса менее 0.071мм. Гранулометрический состав отходов обогащения железистых кварцитов оставался без изменения. Результаты определения предельного напряжения сдвига показали удовлетворительное повышение прочности образцов. Но реологические свойства по-прежнему не отвечали критериям транспортабельности (№ 3 в таблице 2).

Для увеличения растекаемости смеси попробовали уменьшить содержание фракции менее 0.071 мм в отходах обогащения железистых кварцитов. Но это повлекло за собой падение прочности образцов (№ 2 в таблице 2).

Увеличивать содержание воды в смеси также было нецелесообразно из-за общеизвестного факта уменьшения прочности закладочного массива с увеличением водотвердого отношения.

Единственно правильным решением было применение суперпластификатора СП-1, что позволило получить повышение прочности закладочной смеси при удовлетворительных реологических параметрах при условии содержания фракции менее 0.071 мм, % в отходах обогащения и молотом доменном гранулированном шлаке не менее 90% (№ 4 в таблице 2).

При анализе результатов исследований может возникнуть резонный вопрос об энергетических затратах, связанных с измельчением доменного гранулированного



шлака и сгущением отходов обогащения. Но сгущение хвостов обогащения флокулянтами для целей закладки выработанного пространства в шахтах получает все более широкое применение для уменьшения количества воды, поступающей в шахту. А степень помола шлака в предлагаемом техническом решении соответствует степени помола цемента. Если учесть, что для производства цемента необходимо еще и добыть клинкерные минералы со всеми вытекающими последствиями нарушения экологического равновесия, то преимущества разработанного бесцементного состава закладочной смеси очевидны. И, в первую очередь, это утилизация техногенных отходов, составляющих 98,1 масс. % на сухое вещество, и оптимальное сочетание прочности искусственного массива с реологическими параметрами закладочной смеси.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием БелГУ «Диагностика структуры и свойств наноматериалов».

*Исследования выполнены при проведении поисковой научно-исследовательской работы в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (конкурс НК- 629П).*

#### Список литературы

1. Пучков Л. А. Россия в горнодобывающем мире // ГИАБ. – 2005. – № 5. – С. 5–10.
2. Чантурия В.А., Вигдергауз В.Е. Инновационные технологии переработки техногенного минерального сырья // Горный журнал. – 2008. – №6. – С. 71–74.
3. Хайрутдинов М.М., Шаймярдянов И.К. Подземная геотехнология с закладкой выработанного пространства: недостатки, возможности совершенствования // ГИАБ. – 2009. – № 1. – С. 240–250.
4. Разработка ТЭО доработки запасов железистых кварцитов Стретинской залежи этапно-камерной системой разработки с закладкой выработанного пространства: Отчет по Этапу / Engineering Dobersek GmbH. □ Mönchengladbach; M., 2005. – 245 с.

## CEMENTLESS FILLING MIX BASED ON TECHNOLOGICAL WASTE

### E.A. Ermolovich

Belgorod State University,  
Pobedy Str., 85, Belgorod,  
308015, Russia

E-mail:

elena.ermolovich@mail.ru

The possibility of cement replacement by wastes at manufacturing of hardening mixes is proved. The results of modeling of cement replacement possibility by acidic granulated blast-furnace slag of III class are presented. The influence of mechanical activation of the material on the strength of mixes is shown taking into account their rheological properties. The use of superplasticizer is substantiated.

Key words: hardening mixes, wastes of ore-dressing of ferruginous quartzite, acidic granulated blast-furnace slag, superplasticizer, flocculants.