

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ПРИ  
ПРОИЗВОДСТВЕ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ НА РУДНИКАХ**

В статье приведен рациональный подход к использованию материалов местной сырьевой базы при производстве закладочных работ крупных рудников Украины. Приведены экспериментальные исследования составов твердеющей закладки при изменении размера частиц вяжущего.

**RATIONAL MATERIAL USE FOR FILLING MANUFACTURE  
IN ORE MINES**

The rational approach of use of local raw-material base materials at filling production of Ukrainian large mines is given in article. Experimental researches of hardening fill mixture, changing of cementing material particles size are stated.

**Введение.** При подземной добыче богатых руд и руд, залегающих в сложных горно-геологических условиях, широкое распространение получила твердеющая закладка. К достоинствам следует отнести высокое качество закладываемого массива, недостатком является дороговизна компонентов. При использовании систем разработки с закладкой значительная доля затрат (до 15-25 %) в добыче руды приходится на закладочные работы [1]. Резкое удорожание стоимости цемента вынудило отечественные рудники искать альтернативные, более экономически выгодные вяжущие материалы. Замена цементу была найдена - шлаки черной и цветной металлургии. Однако, несмотря на то, что это отходы, они стали дорожать в связи с их масштабным использованием в строительной промышленности. Поэтому рациональный подход к использованию материалов в составе твердеющей закладки является важной научно – практической задачей для горно-рудной промышленности. В Украине разработку месторождений с применением твердеющей закладки осуществляет «Запорожский железорудный комбинат» (ЗЖРК) и ГП «ВостГОК», годовой объем закладочных работ для которых соответственно составляет 1 млн. м<sup>3</sup> и 0,5 млн. м<sup>3</sup> (для одного рудника).

**Суть вопроса.** Понижение уровня ведения горных работ на рудниках, работающих с твердеющей закладкой, требует рационального подхода к составу твердеющей закладки в связи с удорожанием компонентов закладки и возрастающим нормативом прочности закладочного массива, вызванного негативным проявлением горного давления. Рациональное использование ценных вяжущих свойств компонентов закладки возможно за счет увеличения удельной поверхности частиц вяжущего материала при измельчении, что позволит расширить область применения твердеющей закладки при добыче богатых руд.

**Цель статьи** – установление закономерности влияния различных по крупности частиц вяжущего материала на прочностные свойства закладочного массива для рационального использования твердеющей закладки в кон-

кретных горно-геологических условиях.

**Основная часть.** Запорожский железорудный комбинат (ЗЖРК) разрабатывает Южно – Белозерское месторождение богатых железных руд, которое представлено залежью «Главная» и располагается в сложных гидрогеологических условиях. Тип руды – гематито-мартитовая. Среднее содержание Fe в массиве – 60 %. Прочность рудного массива колеблется от 30 до 120 МПа и характеризуется низкой и средней устойчивостью. Мощность залежи изменяется с севера на юг от 15 до 120 м. Угол падения залежи составляет в среднем 70°. В лежащем боку месторождения залегают кварцево-серицитовые и кварц – хлоритовые сланцы, прочностью порядка 60 – 90 МПа. Висячий бок представлен серпентинитами и железистыми кварцитами прочностью 120 – 160 МПа. Отработка запасов руды ведется этажно-камерной системой разработки с заполнением выработанного пространства твердеющей смесью. Высота этажа достигает 100 м.

ГП «ВостГОК» представлен двумя шахтами «Смолинская» и «Ингульская». Угол падения залежей 60 – 70°. Вмещающие породы прочностью 120...180 МПа. Основным породообразующим минералом всех видов альбититов является альбит, который составляет 60...80 % вмещающей породы. Отработка запасов руды на шахте производится с помощью этажно-камерной системы с твердеющей закладкой. Высота этажа составляет: шахта «Смолинская» - 60-90 м, шахта «Ингульская» - 70 м [2]. При размерах камер 70 – 100 м закладочный массив должен обладать устойчивым вертикальным обнажением, быть вязким и достаточно прочным во избежание разрушения при взрывной отбойке.

На крупных рудниках твердеющую закладку производят на поверхностных закладочных комплексах (ПЗК). В табл. 1 приведены составы закладочных смесей, применяемых на ЗЖРК и «ВостГОК».

Таблица 1 - Составы закладочных смесей ЗЖРК и «ВостГОК»

Компонент закладки	ЗЖРК	Шахты ГП «ВостГОК» [3]
Вязущее, %	Шлак – 18,1	Шлак – 9,74 - 15,1
Инертный заполнитель, %	Флюс - 47,5 Порода - 16,3	Порода -36,6 Песок – 31,7 - 36,6
Вода, %	18,1	17,06
Прочность закладки, МПа	6-7 (3 мес.)	3-5 (6 мес.)

Как видно из табл. 1 прочности закладочных массивов на рудниках отличаются. Это связано, прежде всего, с условиями залегания полезного ископаемого и установленной нормативной прочностью при отработке урановых и железных руд. На предприятиях «ВостГОК» интенсивно ведутся научно – исследовательские работы по возможности использования хвостов обогащения урановых руд в качестве инертного заполнителя с целью снижения стоимости закладочных работ. Прочность закладки на основе хвостов обогаще-

ния составляет 3 – 5 МПа [4]. Для активации доменных шлаков предприятия используют шаровые мельницы. Мокрым помолом осуществляется измельчение вяжущего до крупности 50 - 60 % фракции 0,074 мм. Дальнейшим направлением будет являться максимально полноценное использование свойства материалов для обеспечения технологической, экономической и природоохранной функции закладки.

Закладочные работы на крупных рудниках характеризуются масштабно-стью производства. В табл. 2 приведен годовой объем закладочных и расход материалов для ЗЖРК и одного из рудников «ВостГОКа».

Таблица 2 - Годовой объем закладочных и расход материалов для ЗЖРК и одного из рудников «ВостГОК»

Параметр	ЗЖРК	Рудник «ВостГОК»
Годовой объем закладочных работ, м <sup>3</sup>	1000000	500000
Годовой расход материалов, т:		
- гранулированный шлак;	400000	125000
- песок;	-	350000
- флюсовый доломит;	1050000	-
- порода	362000	375000

В 2010 г. ЗЖРК планирует увеличить производство закладочных работ на 34 % [4], что связано, прежде всего, с интенсивной обработкой этажей 640 – 740 м и 740 – 840 м, в связи с увеличением плана добычи руды. Современное состояние закладочных комплексов характеризуется устаревшим оборудованием. В настоящее время технологии тонкого измельчения быстро развиваются, и подобрать измельчительный агрегат уже не составляет проблемы. Измельчительное оборудование может окупиться за несколько лет эксплуатации. Вопрос состоит в подборе рационального соотношения компонентов закладочной смеси, которое строго должно соответствовать технологическим, экономическим и природоохранным аспектам производства.

Основным параметром, влияющим на расход вяжущего материала при приготовлении закладочной смеси является нормативная прочность закладочного массива. Существует линейная зависимость расхода вяжущего от требуемой прочности закладочного массива. Чем меньше количество вяжущего материала, соответственно снижается прочность. Однако при полном раскрытии вяжущих свойств доменного гранулированного шлака и флюсово-

го доломита можно, значительно снизив их количество, получить нормативную прочность закладки, принятой в технологических паспортах закладочных работ. Под полным раскрытием понимается механическое измельчение частиц вяжущего материала до определенной фракции, при которой обеспечивается минимальный расход вяжущего при наборе установленной прочности. Это может быть достигнуто при обработке шлака в современных измельчительных установках, которые по всем техническим характеристикам превосходят шаровые мельницы.

Прочность закладочного массива может колебаться в зависимости от горно-геологических и горнотехнических факторов. Поэтому варьируя тонкостью помола измельчительного агрегата можно получать закладочные смеси требуемой прочности. Для этого необходимо создать точный механизм определения нормативной прочности конкретной камеры.

На рис.1 приведена экспериментальная зависимость прочности закладки от тонкости измельченных частиц вяжущего материала для условий ЗЖРК. Экспериментальные исследования выполнялись с уменьшенным расходом шлака в  $1 \text{ м}^3$  в 2 раза. Это необходимо, прежде всего, для установления степени влияния различных по крупности частиц шлака на прочностную характеристику закладки. Как микрозаполнитель использовался флюсовый доломит в количестве 50 % (кривая 1) и 100 % (кривая 2) от массы гранулированного шлака, который измельчался совместно со шлаком. Прежде флюсовый доломит использовался как инертный заполнитель крупностью частиц до 5 мм. Новизна исследований заключается в установлении зависимости влияния различных по крупности фракций на прочность твердеющей закладки, содержащую крупный заполнитель (порода). До этого во многих работах рассматривалось влияние на прочностные свойства закладки увеличение процентного содержания определенной фракции частиц вяжущего материала.

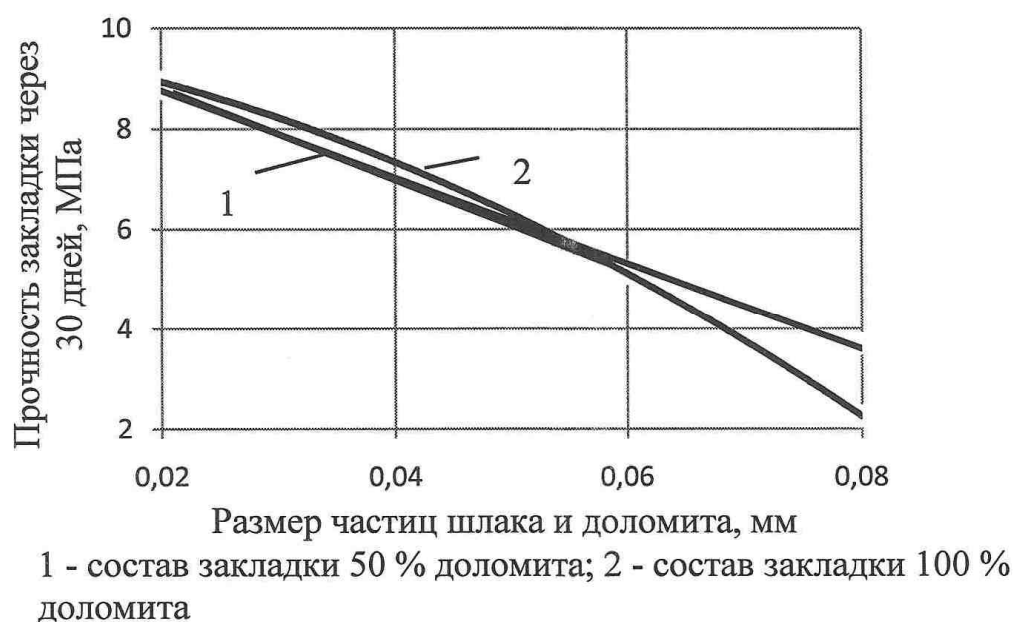


Рис. 1 – Зависимость прочности закладки от размера частиц шлака и доломита

Анализируя кривые, приведенные на рис.1 можно сделать вывод, что изменяя размер частиц вяжущего, прочность закладки значительно возрастает в течение 1 месяца твердения. При расходе шлака  $200 \text{ кг/м}^3$  наблюдается набор прочности с 5 до 8,8 МПа уже после 1 месяца твердения при размере частиц 0,06...0,02 мм. Это связано, прежде всего, с тем, что мелкие частицы размоленного шлака и доломита стремятся заполнить все поры и пустоты между крупными частицами компонентов закладки, способствуя росту прочности и придавая закладочной смеси однородную структуру. Так, для условий ЗЖРК при расходе гранулированного шлака 400 кг (размер частиц 0,074 мм) получают прочность закладки порядка 6 МПа в возрасте 3 месяцев. Три месяца отводится на твердение и набор нормативной прочности закладочного массива в камере. По результатам экспериментальных исследований заложённая камера может быть устойчивой уже через месяц твердения, что позволит повысить эффективность ведения горных работ в отрабатываемом этаже и ввести в эксплуатацию новые рудные площади. Крайним пределом измельчаемости шлака и доломита следует считать 0,02 мм. С увеличением удельной поверхности частиц возрастает скорость схватывания твердеющего раствора. Для условий ЗЖРК время начала схватывания твердеющей смеси должно наступать не ранее чем через 4 часа [5]. Скорость схватывания экспериментальных составов твердеющей закладки (рис.1) составляет 4 ч 30 мин, что удовлетворяет условиям технологии закладочных работ. Измельченный доломит вместе со шлаком также способствует росту прочности. Это позволит снизить затраты на приобретение доменного гранулированного шлака, получить требуемую прочность в конкретных условиях. В таблице 3 приведена характеристика измельченных частиц шлака и известняка при различной тонкости измельчения.

Таблица 3 – Удельная поверхность частиц шлака и доломита при различной тонкости измельчения

Компонент твердеющей за- кладки	Удельная поверхность частиц, $\text{см}^2/\text{г}$		
	при 80 мкм	при 60 мкм	при 20 мкм
Шлак	1999,2	2832,1	6592,8
Доломит	-	2637,8	6808,4

Измельчение шлака и доломита можно производить в измельчительных установках нового поколения: центробежно-ударные мельницы, дезинтеграторы тонкого помола. Размол гранулированного шлака и доломита до размера частиц 0,02 мм позволит снизить расход шлака в 2 – 2,5 раза на 1 м<sup>3</sup> закладочной смеси, при этом прочностные характеристики будут увеличены не менее чем на 100 %, по сравнению с применяющейся в настоящее время на рудниках тонкостью измельчения 0.074 мм. Учитывая тот факт, что срок службы рудников исчисляется несколькими десятками лет, приобретение новейшего измельчительного оборудования весьма перспективно и окупаемо за несколько лет эксплуатации. Рациональный подбор соотношения компонентов закладки и технологии измельчения вяжущих материалов позволит удешевить закладочные работы по материалу на 24 % для ЗЖРК и порядка 10 -12 % для рудников «ВостГОКа». При этом не учитываются энергозатраты на измельчение вяжущего материала. В современных измельчительных установках удельные энергозатраты снижены. Уменьшение размера частиц вяжущего целесообразно применять на рудниках, с достаточно высоким расходом доменного гранулированного шлака 400 – 500 кг на 1 м<sup>3</sup> закладочной смеси. Для более точной оценки предложенной технологии необходимо составить ТЭО проекта совершенствования закладочных работ и более конкретно произвести расчет возможной прибыли.

**Выводы.** В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- при увеличении размера частиц шлака и флюсового доломита с 0,06 до 0,02 мм прочность закладочного массива возрастает на 76 % после 30 дней твердения.

- как дополнительный вяжущий материал доломит целесообразно измельчать до частиц, крупностью менее 0,06 мм, прочность закладки при этом составляет 5,3 МПа. Составы закладки с измельченным доломитом фракции 0,08 мм показывают более низкую прочность, которая составляет 2,3 – 3,5 МПа после 30 дней твердения.

- изменяя размеры частиц вяжущего можно управлять прочностной характеристикой закладочного массива в конкретных горно-геологических условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л.А. Крупник, Г.В.Соколов. Закладочные смеси высокой плотности, их свойства и перспективы применения./ Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. - №11. – С. 237-240.
2. Государственное предприятие «Восточный горно-обогатительный комбинат»// <http://rudana.in.ua/wostgok.htm>
3. В.И. Ляшенко, В.З. Дятчин, Ю.Н. Тархин. Научно-технические основы повышения безопасности жизнедеятельности в уранодобывающем регионе// Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 2.
4. Закрытое акционерное общество «Запорожский железорудный комбинат»// <http://rudana.in.ua/zgrk.htm>
5. Типовая технологическая инструкция производства закладочных работ на горнорудных предприятиях Украины». - Кривой Рог, 1994. - 62 с.