

УДК 622.34:622.273.212:622.273.3

**М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ  
ПО ФОРМИРОВАНИЮ ЗАКЛАДОЧНЫХ МАССИВОВ  
НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ  
ГЕОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ  
ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ РУД КАМЕРНЫМИ  
СИСТЕМАМИ**

*Разработана и прошла опытно-промышленную апробацию технологическая схема, предусматривающая выщелачивание ценных компонентов из хвостов обогащения.  
Ключевые слова: горно-обогатительное предприятие, выщелачивание, закладочный массив, рудник.*

---

**П**роблема изыскания технологической формирования искусственных массивов с использованием доступных и экономичных закладочных материалов актуальна для большинства горнодобывающих предприятий. Практика подземной разработки руд месторождений Уральской колчеданной формации показывает, что ценность медно-колчеданных руд и их склонность к самовозгоранию определяют необходимость применения систем разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства.

Анализ опыта применения твердеющей закладки свидетельствует, что основным недостатком систем данного класса является высокая стоимость компонентов твердеющей смеси — цемента и заполнителей. Поэтому актуально стоит вопрос расширения сырьевой базы местных материалов, пригодных для приготовления закладочной смеси, за счет использования попутно добываемых пород (известняков, карбонатов, доломитов, туфов, цеолитов) и отходов производства (пород от вскрышных и горно-проходческих ра-

бот, хвостов обогащения, зол, шлаков). На большинстве действующих горно-обогатительных и металлургических предприятий объем накопления отходов достаточно велик, причем они уже измельчены и без высоких дополнительных затрат пригодны для приготовления твердеющей закладочной смеси. Сдерживающим фактором их широкого применения в технологии закладки является присутствие в техногенном сырье ценных компонентов.

С целью исключения потерь цветных металлов при утилизации хвостов обогащения медно-колчеданных руд в закладке выработанного пространства была разработана и прошла опытно-промышленную апробацию технологическая схема, предусматривающая выщелачивание ценных компонентов из хвостов обогащения [1]. Технология позволяет после доизвлечения ценных компонентов использовать такие отходы для формирования закладочных массивов с заданными механическими характеристиками и обеспечивает высокую полноту, безопасность и эффективность освоения недр.

Таблица 1

**Характеристика активности отходов выщелачивания**

Показатели	Значение
Модуль активности	0,14
Модуль основности	0,07

Выполненный анализ химического состава отходов выщелачивания хвостов обогащения медно-колчеданных руд свидетельствует о возможности и целесообразности их использования в составе закладочной смеси. Как показали исследования, как выщелачивания без дополнительных добавок не обладает достаточной вяжущей активностью для обеспечения требуемой нормативной прочности закладочной смеси (табл. 1), однако он является уже подготовленным инертным материалом и может быть с небольшими затратами использован в качестве заполнителя смеси.

Преобладание сульфидов в текущих хвостах обогащения также может способствовать набору прочности закладочной смеси в случае ее разогрева при эндогенном процессе твердения, сопровождающимся выделением значительного количества тепла. Такой процесс происходит при использовании в качестве вяжущего в составе твердеющей смеси негашеной извести, которая при гидратации после затворения смеси выделяет большое количество тепла. Наличие местных источников известняка вблизи месторождений медно-колчеданных руд позволяет рассматривать технологию приготовления закладочной смеси на основе извести и отходов выщелачивания хвостов обогащения как весьма перспективную.

В исследованиях новых составов закладочных смесей использовали следующие компоненты:

- хвосты обогащения медно-колчеданных руд после выщелачивания

ценных компонентов. Подготовка хвостов заключалась в промывке их после выщелачивания водой (до установления  $pH = 5,5-6$ ) с вымыванием сульфатов (оценка химического состава воды после промывки производилась путем измерения концентрации иона  $SO_4^{2-}$ );

- негашеная обожженная известь. Комовую негашеную известь перед проведением исследований измельчали в соответствии с ГОСТ 9179-77;

- техническая вода. Количество воды, необходимое для затворения смеси и ее транспортирования по трубопроводу, подбиралось исходя из условия обеспечения подвижности в пределах 10-13 см погружения конуса СтройЦНИЛа;

- лигносульфонат натрия технический (ЛСТ), используемый для замедления процесса гидратации извести в виде водного раствора. Соотношение вода: ЛСТ подбиралось расчетным путем в зависимости от времени, необходимого на производство и доставку смеси до закладываемых выработок;

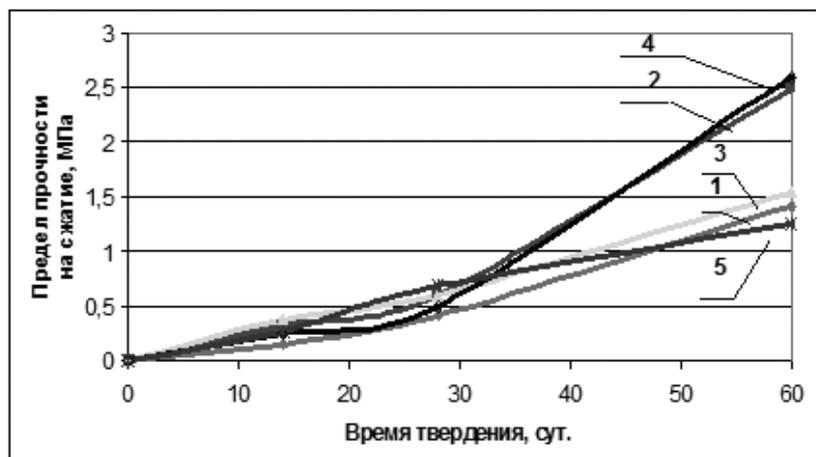
- шлак медеплавильного производства использовался в композиции вяжущего закладочной смеси совместно с негашеной известью для повышения прочности закладки;

- портландцемент марки М 400 в исследованиях принимался в качестве базового вяжущего материала для сопоставления расхода материалов и прочностных характеристик закладочных массивов, приготовленных с использованием извести и отходов выщелачивания хвостов обогащения.

112 Таблица 2

**Составы закладочных смесей на основе известкового вяжущего и прочность на сжатие кубических образцов закладочных смесей**

№ состава	Расход, кг/м <sup>3</sup>				Прочность на сжатие по истечении, МПа				
	вяжущего	заполнителя		ЛСТ	воды	7 суток	14 суток	28 суток	60 суток
1	Известь 80	Текущие выщелоченные хвосты (не активизированные) 1650		1,8	420	0,1	0,15	0,42	1,41
2	Известь 80	Текущие выщелоченные хвосты (активированные), 165	Текущие выщелоченные хвосты (не активированные), 1485	1,8	400	0,1	0,32	0,6	2,5
3	Известь 80	Текущие выщелоченные хвосты (активированные), 420	Текущие выщелоченные хвосты (не активированные), 1230	1,8	380	0,11	0,38	0,6	1,54
4	Известь 80	Текущие выщелоченные хвосты (активированные), 660	Текущие выщелоченные хвосты (не активированные), 990	1,8	300	0,1	0,25	0,5	2,6
5	Известь 80	Текущие выщелоченные хвосты (активированные) 1700		1,8	400	0,095	0,27	0,67	1,25



**Рис. 1.** Динамика набора прочности в образцах на основе известкового вяжущего и хвостов после выщелачивания предварительно промытых водой при расходе извести  $80 \text{ кг/м}^3$ , текущих хвостов  $1650 \text{ кг/м}^3$  с долей механоактивированных хвостов 0 (1), 10 (2), 25 (3), 40 (4) и 100 % (5)

Так как основными требованиями к закладочному массиву, как объекту управления горным давлением, является сохранение устойчивости при технологическом обнажении и обеспечение поддержания подрабатываемого массива с заданными характеристиками деформаций, в исследованиях в качестве основной характеристики закладочного массива был принят предел прочности на одноосное сжатие, определяемый при раздавливании на прессе образцов кубической формы, подготовленных по стандартной методике. Дополнительно определялись деформационные характеристики — модуль деформации и коэффициент Пуассона.

Испытания механических характеристик закладочного массива производились в двух сериях опытов на основе применения известкового и известково-шлакового вяжущего в сопоставлении с эталонными образцами на основе цемента.

Составы закладочных смесей первой серии опытов приведены в табл. 2. Расход извести для каждого состава

был принят минимальным по результатам предварительных исследований —  $80 \text{ кг/м}^3$ . Варьировался расход заполнителя — хвостов обогащения после выщелачивания. В опытах также была оценена возможность повышения механической прочности закладочного массива путем механоактивации доли (0, 10, 25, 40 и 100 %) отходов выщелачивания путем их тонкого помола непосредственно перед введением в состав закладочной смеси.

Анализ данных табл. 2 свидетельствует о достаточной прочности образцов на основе извести и хвостов обогащения после выщелачивания по фактору устойчивости вертикальных обнажений.

Результаты механоактивации текущих хвостов дали положительный результат (рис. 1), прочность образцов закладки повысилась в среднем в 2 раза. Причем, активация текущих хвостов в количестве 10 и 40 % от общего расхода твердой фазы позволяет получить закладочный массив с устойчивой высотой вертикального обнажения до 60 м.

Таблица 3

**Результаты лабораторных исследований упругих характеристик закладки на основе известкового вяжущего**

№ опыта	Время прохождения волны, мс		Коэффициент Пуассона	Модуль упругости, МПа*10 <sup>-3</sup>	
	продольн.	поперечн.		статич.	динамич.
1	92,1	16,3	0,168946	3,59875	0,939876
2	96,7	16,8	0,234578	4,258746	1,109631
3	91,3	15,4	0,158743	3,718743	0,948763
4	97,1	15,3	0,244556	4,255144	1,098674
5	90,8	18,6	0,170285	3,398746	0,896302

Результаты испытаний деформационных характеристик образцов, в динамическом режиме путем прозвучивания на приборе УКБ — 1М, приведены в табл. 3.

Увеличение до 0,25 доли текущих хвостов, прошедших механоактивацию, приводит к улучшению деформационных характеристик — модуль деформации повышается на 18 %, при этом на 25 % увеличивается значение коэффициента Пуассона, что, в целом, свидетельствует о лучшем сопротивлении закладочного массива вертикальным нагрузкам и повышении устойчивости его вертикальных и горизонтальных обнажений. Механоактивация всего объема в составе шихты хвостов после выщелачивания приводит к снижению значения коэффициента Пуассона и модуля деформации массива, что указывает на целесообразность механоактивации в объеме 10- 25 %. В этом случае механоактивация хвостов обогащения после выщелачивания улучшает деформационные характеристики массива, повышая значения относительного коэффициента поперечных деформаций в 1,3—1,5 раза, что обеспечивает сохранение несущей способности закладочного массива при нагрузках, в 5-7 раз превышающих предел упругости. Разрушение образца происходит в виде откольных явлений в

основном по боковым поверхностям при этом сплошность и несущая способность образца в центральной части сохраняются.

Во второй серии опытов исследовались составы закладочной смеси на основе известково-шлакового вяжущего с расходом извести 80 кг/м<sup>3</sup> и свежемеленных шлаков медной плавки 120, 160 и 200 кг/м<sup>3</sup>. В качестве заполнителя использовались текущие хвосты после выщелачивания, в различных пропорциях прошедших механоактивацию и без нее (табл. 4).

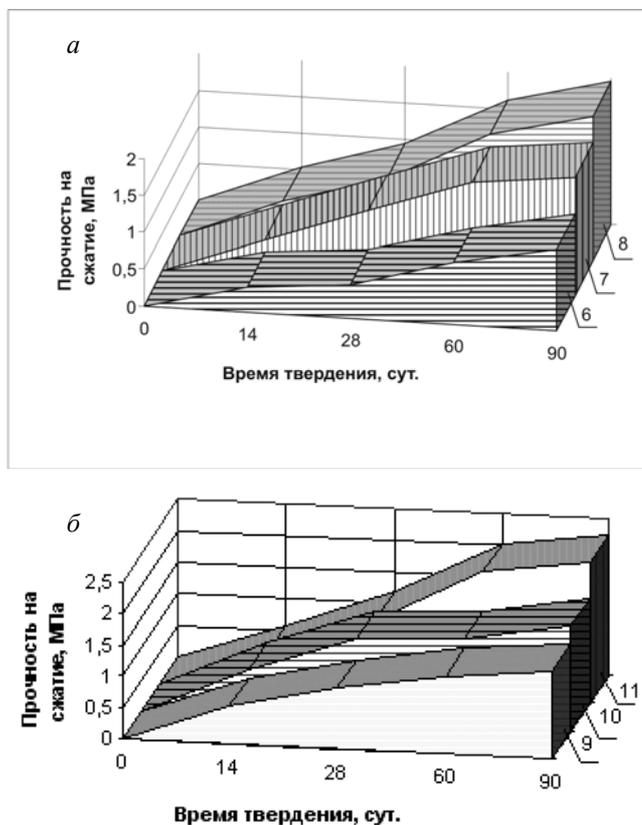
Результаты испытаний прочности на сжатие образцов составов № 6-8, приготовленных из промытых водой после выщелачивания хвостов обогащения с различным расходом свежего молотого шлака показали более высокий результат при расходе шлака 160 и 200 кг/м<sup>3</sup>, прочность образцов на 60 сутки составила соответственно 1,46 и 1,62 МПа, на 90 сутки — 1,6 и 1,95 МПа, что обеспечивает устойчивость вертикальных обнажений закладочного массива высотой 40 и 60 м.

Составы на основе известково-шлакового вяжущего, при расходе извести и измельченного шлака 160 и 200 кг/м<sup>3</sup> (рис. 2, линии 7 и 8) соответственно дают прочность образцов в 1,5 — 2 раза выше, чем составы с расходом шлака 120 кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 4

**Прочность на сжатие закладочных массивов на основе известково-шлакового вяжущего**

№ состава	Расход, кг/м <sup>3</sup>					Прочность на сжатие по истечении, МПа			
	вяжущего	заполнителя	ЛСТ	воды	14 суток	28 суток	60 суток	90 суток	
6	Известь 80	Шлак медной плавки активирован. 120	Текущие хвосты не активиров. 1550	1,8	480	0,33	0,46	0,83	1,1
7	Известь 80	Шлак медной плавки активирован. 160	Текущие хвосты не активиров. 1510	1,8	510	0,5	0,99	1,46	1,6
8	Известь 80	Шлак медной плавки активирован. 200	Текущие хвосты не активиров. 1475	1,8	550	0,54	0,94	1,62	1,95
9	Известь 80	Шлак медной плавки активирован. 120	Текущие хвосты активиров. 1550	1,8	500	0,6	0,98	1,25	1,4
10	Известь 80	Шлак медной плавки активирован. 160	Текущие хвосты активиров. 1510	1,8	520	0,75	1,33	1,39	1,65
11	Известь	Шлак медной плавки активирован. 200	Текущие хвосты активиров. 1475	1,8	540	0,56	1,19	2,02	2,3



**Рис. 2. Динамика набора прочности за 90 суток образцов закладки:** а — на основе хвостов обогащения после выщелачивания, извести и шлака медной плавки с расходом: 120 (6), 160 (7) и 200 (8) кг/м<sup>3</sup>; б — на основе хвостов обогащения, прошедших механоактивацию, извести и шлака медной плавки с расходом 120 (9), 160 (10) и 200 (11) кг/м<sup>3</sup>

Прочность образцов закладки состава № 7 и № 8 сопоставима между собой в течении первых 28 суток хранения, а при большем сроке хранения образцов (60 и 90 дней) прочность образцов закладки состава № 7 на 20 % ниже, чем состав № 8.

Оценка возможности увеличения прочности закладки на основе известково-шлакового вяжущего и текущих хвостов обогащения после выщелачивания путем активации

хвостов тонким измельчением на истирателе непосредственно перед приготовлением закладочной смеси (составы 9-11) выявила возможность повышения прочности закладочного массива. В составах на основе активированных хвостов с расходом шлака 120 кг/м<sup>3</sup> (состав № 9) на 90 суток прочность выше 30 %, а с расходом 160 и 200 кг/м<sup>3</sup> (составы № 10 и № 11) соответственно на 10 и 15 % (рис. 4.7) по сравнению с составом без механоактивации. Причем, качественно изменилась и динамика набора прочности, особенно в составе № 11 с большим расходом извести (200 кг/м<sup>3</sup>), где сопротивление на сжатие 2 МПа было достигнуто уже на 50-60 суток. Это указывает на целесообразность использования данных составов при сплошных слоевых или камерных системах разработки, когда существует необходимость раннего технологического обнажения массива для обеспечения требуемой интенсивности горных работ.

Анализ данных табл. 5 свидетельствует, что при использовании для приготовления закладочной смеси текущих хвостов обогащения с расходом извести 80 кг/м<sup>3</sup> и шлака 200 кг/м<sup>3</sup> обеспечиваются более высокие значения модуля деформации и коэффициента Пуассона.

Составы на основе хвостов обогащения, извести и шлака медной плав-

Таблица 5

**Результаты лабораторных исследований динамических характеристик закладки на основе известково-шлакового вяжущего**

№ состава	Время прохождения волны, мс		Коэффициент Пуассона	Модуль упругости, МПа*10 <sup>-3</sup>	
	продольн.	поперечн.		статитич.	динамич.
6	53,7	13,4	0,199875	6,586545	2,264512
7	68,2	17,7	0,243245	7,325864	2,936894
8	93,3	26,4	0,308748	7,986581	3,021545
9	58,6	12,5	0,236894	8,015723	3,256548
10	74,5	12,4	0,286451	9,245468	4,458736
11	99,8	18,4	0,354123	10,56655	4,698514

ки с расходом 80 и 120 кг/м<sup>3</sup> с механической активацией вяжущих свойств могут эффективно применяться при этажно-камерных системах разработки с восходящим порядком выемки запасов. Наибольшие показатели прочности в сроки обнажения (28-60 суток) обеспечивают составы на основе хвостов обогащения после выщелачивания, извести расходом 80 кг/м<sup>3</sup> и активированных шлаков — 200 кг/м<sup>3</sup>. Они обеспечивают на 60 сутки прочность 2,1 МПа, коэффициент Пуассона 0,3 и модуль деформаций — 3-4 x 10<sup>3</sup> МПа.

Полученные составы закладочной смеси на основе отходов выщелачивания хвостов обогащения могут быть

использованы при освоении медно-колчеданных месторождений в различных горно-геологических условиях системами разработки с искусственным поддержанием очистного пространства твердеющей закладкой. Сопоставление объемов ежегодного формирования подземных пустот и поступающих с фабрик отходов обогащения свидетельствует об их балансе и возможности полного складирования хвостов в выработанном пространстве подземного рудника.

На составы закладочных смесей на основе отходов сернокислотного выщелачивания хвостов обогащения на бесцементной основе получен патент РФ на изобретение [2].

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Илимбетов А.Ф., Звягинцев А.Г. Опытная промышленная апробация технологии кучного выщелачивания хвостов обогащения медно-колчеданных руд/ГИАБ.
2. Состав закладочной смеси и способ ее изготовления. Патент РФ № 2327874. Приоритет от 25.09.2006 г.// Авторы М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко, И. А. Абдрахманов и др. ГИАБ

**Коротко об авторах**

*Рыльникова М.В.* — профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник УРАН ИПКОН РАН;  
*Радченко Д.Н.* — кандидат технических наук, старший научный сотрудник УРАН ИПКОН РАН, info@ipkonran.ru