

УДК 504.55.054:662 (470.6)

*Страданченко С.Г., д.т.н., проф., ИСОиП (филиал) ДГТУ, Масленников С.А., к.т.н., доц., Прокопенко К.Д., ТФ-4-17, ЮРГПУ(НПИ), г. Шахты, Россия*

## **РАЗРАБОТКА СПОСОБА УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД КМА**

Железорудные месторождения расположены по всему миру, на всех основных континентах. По данным геологического института США, мировые запасы железной руды оцениваются более чем в 800 млрд. тонн сырой руды, содержащей свыше 230 млрд. тонн железа, разведанные запасы составляют порядка 160 млрд тонн. Россия является одним из мировых лидеров по запасам, добыче и переработке металлических руд. По разным оценкам, на ее территории сосредоточено от 15,6% до 26% их мировых запасов. Однако по объему добычи наша страна находится лишь на пятом месте, значительно уступая Китаю, Бразилии, Австралии и Индии. Причем если в начале тысячелетия доля России в мировой добыче составляла более 8%, то к концу первого десятилетия XXI века она снизилась до 4%. Неудовлетворительное положение с добычей руд нашло отражение в Стратегии социально-экономического развития на период до 2025 г, где данное направление признано приоритетным.

В настоящее время в России доминирующим является открытый способ – с его помощью добывается около 90% всей железной руды. Это объясняется экстенсивным вариантом развития железорудной промышленности – добывается в первую очередь то, что лежит ближе к поверхности. Когда же глубина карьера становится критичной, переходят к шахтному методу (или комбинируют открытый и подземный способы добычи).

Главным недостатком обоих методов является необходимость больших капитальных вложений. Чтобы оптимизировать процесс разработки Всероссийский научно-исследовательский институт минеральных ресурсов (ВИМС) попытался внедрить новый способ скважинной гидродобычи (СГД), в т.ч. в условиях КМА.

Первоначально апробация проходила на алмазоносных участках в Архангельской области, открытых еще в 80-ые годы (Ломоносовское месторождение). Прочные кимберлитовые породы не размывались даже под большим давлением. В итоге все работы по освоению перспективного месторождения пришлось свернуть, а сам проект заморозить.

Эксперимент с СГД продолжили на железорудных месторождениях. Разработчик Гостищевского месторождения – Белгородский горно-обогатительный комбинат стал вести добычу руды с помощью СГД и столкнулся с теми же проблемами. А именно, малые объемы извлечения

железной руды, которые составляли всего два-три процента. Для сравнения: при подземной добыче извлечение ископаемого достигает 60-70 процентов [1].

Таким образом, в настоящее время нет достаточно надежного и проверенного на практике альтернативного варианта добыче железной руды подземным способом, после отработки запасов залегающих на небольших глубинах. Это позволяет прогнозировать в долгосрочной перспективе рост объемов добычи железной руды подземным способом и, соответственно, повышение интереса к инновациям в данной сфере.

К настоящему моменту под землей в России добывается 8% от общих объемов извлечения железной руды, из них половина приходится на «Евраз ВГОК» и «Евразруду». Подземный способ разработки железорудных месторождений является основным на действующих предприятиях Алтая-Саянской территории [2]. Рудники — Абаканский, Казский, Таштагольский и Шерегешский — извлекают более половины объема подземной добычи железных руд в России.

В пределах месторождения КМА подземным способом разрабатывают Коробковское месторождение (КМА), это шахта им. Губкина (ОАО «Комбинат КМАруда», Белгородская обл.) и Яковлевское месторождение - Яковлевский рудник (ООО «Металл-групп», Белгородской области) [3,4].

Для этих условий авторы разрабатывают ресурсосберегающую технологию добычи железной руды с закладкой выработанного пространства с использованием в качестве аналога вяжущего и инертного заполнителей отходов обогащения.

Использование для закладки или изготовления закладочных смесей отходов обогащения без доизвлечения металла является паллиативом и ведет к образованию реакторов миграции химически опасных элементов в подземные воды, в процессе развития естественного выщелачивания, и далее в поверхностные экосистемы. Для снижения содержания металлов в отходах может быть использована технология механохимической активации, положительно зарекомендовавшая себя при переработки отходов полиметаллических руд.

Образцы для исследований отбирались из хранилища Лебединского ГОКа. Изучение минерального состава показало, что в состав хвостов входят: кварц, магнетит, гематит, карбонат, слюда, пирит, ильменит, силикат, и полевой шпат.

Химический анализ состава отобранной для исследования пробы хвостов показал наличие следующих соединений:  $\text{SiO}_2$  – 64%, Fe – 8%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 5,2%, Mn – 3,2%,  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,7%, P – 0,1%, Ca – 0,8%, MgO – 0,2%, Cu –  $5 \cdot 10^{-3}\%$ , Ni -  $4 \cdot 10^{-3}\%$ , Zn -  $5 \cdot 10^{-4}\%$ , As, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Li, Mo, Nb, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti, V, Y – на уровне  $(30-50) \cdot 10^{-6}\%$ .

Характеристика гранулометрического состава представлена в таблице 1.

На первом этапе был изучен процесс выщелачивания хвостов растворами одновременно с активацией в дезинтеграторе.

Таблица 1

Крупность хвостов обогащения хвостов обогащения железистых кварцитов

Вид отходов	Остатки на ситах, %					Сумм.
	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071	
Хвостохранилище	0,5	3,2	27,6	21,4	47,3	100

В ходе исследования изучалась зависимость извлечения железа из измельченных хвостов обогащения железистых кварцитов от содержания в выщелачивающем растворе серной кислоты и хлорида натрия, соотношения жидкой и твердой фаз (далее Ж:Т) и скорости вращения роторов дезинтегратора. Для планирования был использован трехуровневый некомпозиционный план Бокса-Бенкена. Уровни и интервалы варьирования независимых факторов в экспериментах приведены в таблице 2.

Таблица 2

Пределы изменения независимых факторов в экспериментах по выщелачиванию хвостов обогащения железистых кварцитов в момент их активации с растворами в дезинтеграторе

Уровни и интервалы варьирования независимых факторов	Независимые факторы и их обозначение в экспериментах серии			
	Содержание в растворе $H_2SO_4$ , $X_1$ , г/л	Содержание в растворе $NaCl$ , $X_2$ , г/л	Соотношение Ж:Т, $X_3$ , ед.	Скорость вращения роторов, $X_4$ , Гц
Нулевой уровень, $X_i = 0$	6	90	7	125
Интервал варьирования	4	70	3	75
Верхний уровень, $X_i = -1$	10	160	10	200
Нижний уровень, $X_i = 1$	2	20	4	50

Исследование проводилось следующим образом: отвешивалось 50 г высушенного материала, выщелачиваемого в единичном эксперименте; отмеренную навеску добавляли в выщелачивающий раствор заданного для данного единичного эксперимента состава; полученную пульпу пропускали через дезинтегратор; после завершения выщелачивания продукционный раствор фильтровался и направлялся в химическую лабораторию для анализа

содержания в нем металлов. После проведения серии экспериментов, определенной используемым планом, полученные результаты подвергаются регрессионному анализу, в ходе которого определяются рациональные значения независимых параметров процесса, т.е. технология механохимической обработки.

В таблице 3 приведены результаты регрессионного анализа полученных экспериментальных данных.

Таблица 3

Результаты регрессионного анализа экспериментальных данных

Уравнение регрессии	Показатели значимости
$\varepsilon = 2.447 + 1.736X_1 + 0,714X_2 + 0,48X_3 + 0,372X_4 + 0,655X_1^2 + 0,705X_2^2 - 0,27X_3^2 + 0,142X_1X_3 + 0,147X_1X_4 + 0,136X_2X_3 + 0,198X_2X_4 + 0,184X_3X_4$	$R^2 = 0,954;$ $S_{ad} = 0,3393;$ $F = 75,47$

Примечание. Безразмерные переменные определяются из выражений:

$$X_1 = \frac{C_{H_2SO_4} - 6}{4}; \quad X_2 = \frac{C_{NaCl} - 90}{70}; \quad X_3 = \frac{(Ж : Т) - 7}{3}; \quad X_4 = \frac{f - 125}{75}.$$

где  $C_{H_2SO_4}$  - содержание серной кислоты в выщелачивающем растворе, г/л.;  $C_{NaCl}$  - содержание NaCl в выщелачивающем растворе, г/л.; Ж:Т - соотношение жидкой и твердой фаз;  $f$  - скорость вращения роторов дезинтегратора, Гц.

Для наглядности представления полученных результатов был построен график изменения извлечения металла от содержания серной кислоты и соли, факторы «Соотношение Ж:Т» и «Скорость вращения роторов дезинтегратора» устанавливаются при этом на нулевом уровне (см. рис. 1) и график изменения извлечения металла от факторов «Соотношение Ж:Т» и «Скорость вращения роторов дезинтегратора», при содержании серной кислоты и соли на нулевом уровне (см. рис. 2).

Материал после выщелачивания хвостов в момент их активации в виде пульпы с выщелачивающим раствором содержал:  $Al_2O_3$  – 3,7%, Mn – 2,3%,  $K_2O$  – 0,2%, P – 0,06%, Ca – 0,20%, MgO – 0,11%.

Технология механохимической активации отходов обогащения железных руд позволяет снизить содержания железа до 12% от исходной величины, при этом извлекается наиболее легкодоступная часть металла, и после использования в закладке переработанных таким способом отходов процессы естественного выщелачивания развиваются медленнее и в подземные воды переходит значительно меньшее количество железа.

После анализа полученных результатов, а также их сравнения с результатами переработки по подобной технологии отходов полиметаллических руд, наиболее перспективным направлением дальнейших изысканий было признано исследование многократной активации отходов

обогащения железистых кварцитов в установке типа дезинтегратор, а также изучения вязущего эффекта активированных в сухом состоянии хвостов.

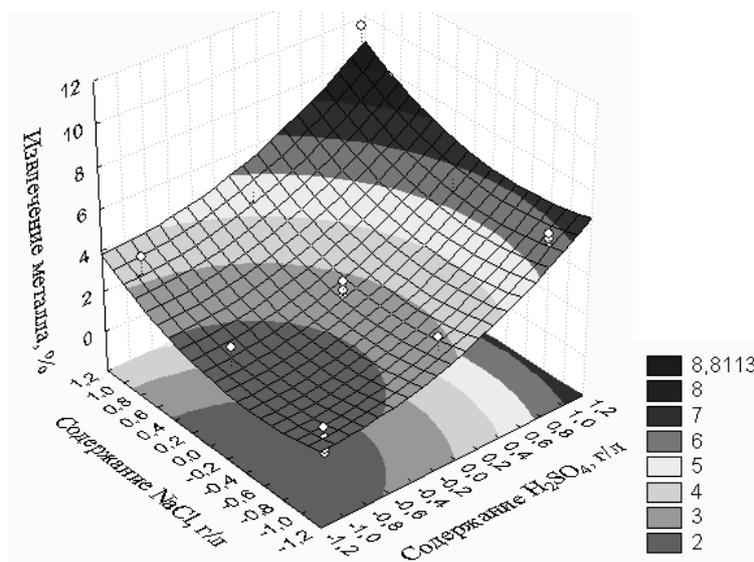


Рис. 1. Подогнанная поверхность зависимости извлечения металла, %, от содержания H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и NaCl

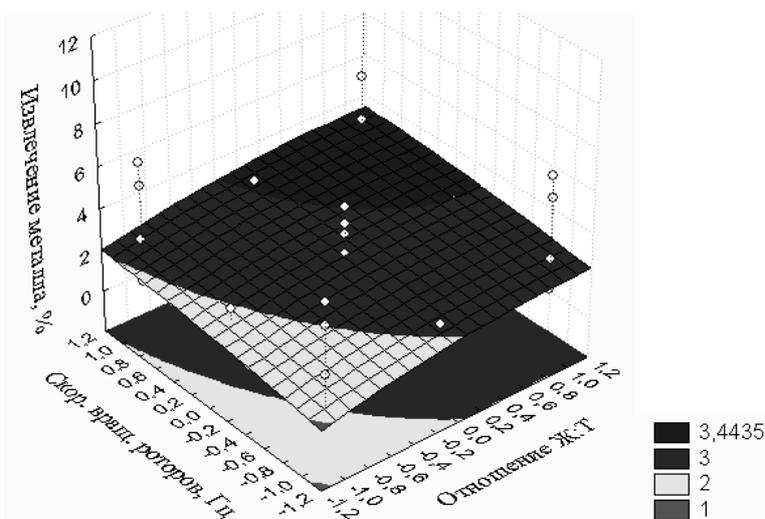


Рис. 2. Подогнанная поверхность зависимости извлечения металла, %, от соотношения Ж:Т и скорости вращения роторов дезинтегратора

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сделать выбор в пользу эффективных технологий добычи железной руды [Электронный ресурс] // *Металлургический бюллетень*. – Режим доступа: <http://www.metalbulletin.ru/publications/2016/>, свободный – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2. Голик, В.И. Исследование технологии выщелачивания металлов из хвостов обогащения [Текст] / В.И. Голик, С.Г. Страданченко, С.А. Масленников // Уголь, 2012. - №9. - С. 91-93.

3. Голик В.И., Масленников С.А. Механо-химико-активационная технология извлечения металлов из скальных руд [Текст] // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012. - №9. – С. 20-25.

4. Golik V. Mechanochemical activation of the ore and coal tailings in the desintegrators [Текст] // MPES Conference, Dresden, Germany, 14th—19th October 2013 – Dresden/Freiberg: «Springer», 2013. – S. 1047-1056.