

КОНЦЕПЦИЯ УТИЛИЗАЦИИ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

*В.И. Голик, Ю.И. Разоренов, А.Б. Ефременков**

*Южно-Российский государственный технологический университет им. М.И. Платова,
E-mail: v.i.golik@mail.ru*

** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: abe73@rambler.ru*

Введение

Несмотря на изменение конъюнктуры рынка минерального сырья, темпы добычи минерального сырья, в первую очередь металлического, характеризуются увеличением объемов, что вызвано динамичным развитием потребностей человеческого сообщества [1]. Декларируемое изменение отношения к окружающей среде не сопровождается существенными результатами.

Наиболее контролируемым и регулируемым технологически показателем опасности горных технологий является состояние земной поверхности на участке, включающем месторождение полезных ископаемых. Поэтому главной целью управления состоянием массива горных пород должно быть сохранение земной поверхности от разрушения. Инструментом же достижения этой цели является оптимизация оптимальных параметров элементов системы "естественные массивы – искусственные массивы - поверхность".

Распространенным критерием эффективности управления состоянием рудовмещающего массива горных пород остается себестоимость горных работ или приведенные затраты на 1 м³ погашенных пустот без полного учета последствий реализации технологии. При оценке эффективности технологии такими методами допускается системная ошибка, поскольку действительный ущерб пока еще не может быть выражен в материальном измерении.

Методология

Рядом ученых критерий оптимальности технологии разработки в виде условия сохранения земной поверхности от разрушения предложен в качестве основного. В этом случае способы управления массивом становятся в сравнимые условия. Критерий исключает из числа возможных способы управления с обрушением пород с выходом на земную поверхность [2].

В мировой практике просматривается тенденция перехода на подземный способ разработки всех месторождений, например, железорудные месторождения Курской магнитной аномалии (КМА).

При выборе параметров управления горным давлением используется свойство скальных массивов создавать устойчивые конструкции за счет взаимодействия слагающих их дискретных породных элементов, если не превышен некий предельный пролет (Г.Н.Кузнецов, В.Д. Слесарев, С.В.Ветров [3] и др.). Обрушение пород в процессе отделения руды от массива сопровождается разубоживанием руд, что резко увеличивает затраты на переработку. По той же причине на участках добычи условия работ становятся опасными, запасы списываются, увеличивая потери уже разведанных, вскрытых и подготовленных к выемке металлов.

Радикальным способом управления массивом является создание искусственных массивов из твердеющих смесей. Закладка пустот твердеющими смесями отличается повышенными затратами, достигая 2/3 себестоимости добычи. Львиную долю в затратах имеет стоимость вяжущих и инертных материалов-компонентов твердеющих смесей. Поэтому условием использования природоохранных технологий становится удешевление стоимости компонентов твердеющих смесей.

Учитывая наличие хвостов обогатительного и металлургического передела на предприятиях, проблема обеспечения сырьем для приготовления смесей может быть решена за счет использования них. Для корректного решения этой проблемы в конкретных условиях необходимо обоснование безопасности их использования.

Геомеханическая сбалансированность массива является следствием взаимодействия напряжений в элементах геомеханической системы. В пределах геомеханически сбалансированных участков могут быть применены минимизированные по затратам труда и материалов составы твердеющих смесей [4]. Разделение на геомеханически безопасные участки путем ограничения размеров выработки такими значениями, при которых напряжения в элементах системы не превышают критиче-

ских. Надежность разделения проверяется на предотвращение обрушения налегающих пород до поверхности путем построения зон влияния выработок (рис.1).

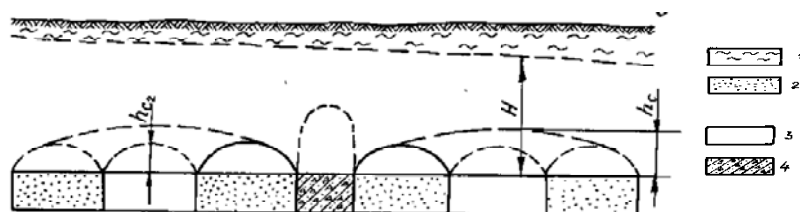


Рис. 1. Схема разделения месторождения на геомеханически сбалансированные участки: 1 –наносы; 2-малопрочная закладочная смесь; 3- выработка; 4-прочная закладочная смесь; H -расстояние от выработки до земной поверхности; h_c -высота слоя смещающихся в выработку пород; h_{c2} - высота слоя смещающихся в выработку пород после заполнения закладочной смесью

Проблемой использования хвостов обогащения является наличие не извлеченных металлов. Из руд извлекаются титульные металлы, а сопутствующие остаются. Стоимость не извлеченных их хвостов и теряемых в закладочных смесях металлов может даже превосходить стоимость извлеченных [5].

Захоронение хвостов обогащения в недрах без извлечения из них металлов нельзя признать положительным опытом. Вместе с железными компонентами в хранилища попадают уран, золото и редкоземельные элементы. Так, в хвостохранилища Михайловского ГОК ежегодно поступает не менее 1.5 т золота и 2т урана. В целом прогнозные ресурсы золота в отходах ГОК составляют не менее 3 т/год при валовом содержании 0.5–0.6 г/т, а содержание золота 0.2–9 г/т [6].

Радикальной мерой снижения опасности химического загрязнения окружающей среды является полная утилизация хвостов обогащения и металлургии. Возможность извлечения металлов из хвостов переработки увеличилась с освоением в середине прошлого века технологий выщелачивания, но сложность контроля процессов и продолжительность препятствует их широкому распространению.

Для осуществления безотходной утилизации хвостов обогащения нужно экспериментально доказать возможность извлечения из них оставшихся металлов.

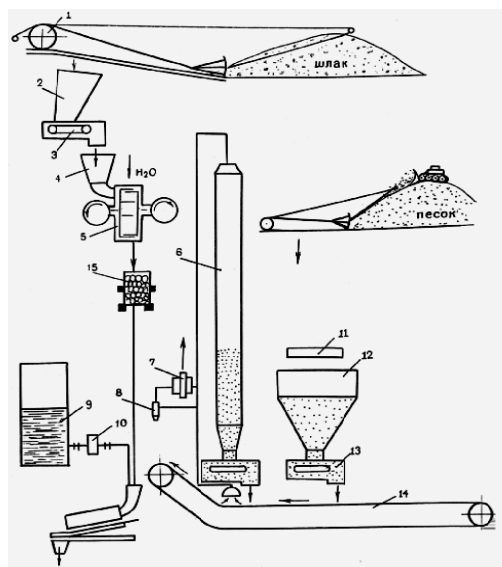


Рис. 2. Технологическая цепь приготовления закладочных смесей: 1 - скреперная лебедка ЛС-50; 2 - бункер-накопитель; 3 - дозатор СБ-110; 4 - питатель; 5 - дезинтегратор ДУ-65; 6 - силос СБ-2/2; 7 - вентилятор; 8 - циклон; 9 - бак воды; 10 - насос - 1,5 К-6; 11 - вибрационный грохот; 12 - бункер песка; 13 - дозатор СБ-71; 14 - конвейер; 15 - вертикальная вибрационная мельница

Результаты и обсуждение

Концепция природо – и ресурсосбережения при разработке рудных месторождений исходит из того, что сохранность земной поверхности, качество использования недр и приемлемые показатели разработки месторождений могут быть обеспечены при использовании хвостов обогащения в составе твердеющих смесей после извлечения из них металлов.

Повышение каталитических свойств веществ, ускорение химических реакций, повышение прочности изделий и т.п. обеспечивается приложением большой механической энергии при скорости обработки более 250 м/с в дезинтеграторах [7], где накапливается и реализуется энергия особого вида и происходит структурное изменение его состояния, материалы разрушаются, процессы сепарирования фаз активизируются, а свойства изменяются.

Первый дезинтегратор функционировал в Северном Казахстане в составе закладочного комплекса при утилизации доменного шлака в качестве вяжущего компонента. Установка ДУ-65 обеспечивала выход активного класса шлака до 55 %, а в комбинации с вибро - мельницей - до 70 %,

что позволяло доменному шлаку конкурировать с товарным цементом при производительности заводского комплекса 100 тыс.м³ в год (рис.2).

Механохимическая технология в отличие от традиционных технологий обогащения позволяет одновременно с повышением механической активности компонентов смесей выщелачивать и оставшиеся в них металлы (рис.3).

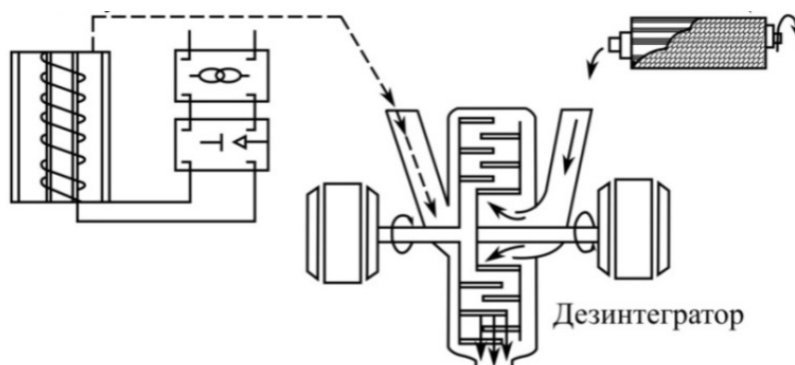


Рис. 3. Схема механохимической переработки хвостов

Экспериментальное обоснование этого феномена осуществлено на хвостах обогащения цветных и черных металлов и углей по единой методике с использованием математического планирования Венкена-Бокса. Независимыми факторами являлись:

- содержание серной кислоты в выщелачивающем растворе (X_1) 2-10 г/л;
- содержание хлорида натрия в выщелачивающем растворе (X_2) 20-160 г/л;
- весовое соотношение массы выщелачивающего раствора и выщелачиваемой массы (X_3) в единичном эксперименте (50г) 4-10;
- время выщелачивания (X_4) в пределах 0,15-1,0 ч.

Полиметаллические руды Садонских месторождений (Россия, Северный Кавказ) обогащают в тяжелых суспензиях с извлечением свинца и цинка - 80-85 %, серебра -60%, кадмия - 56%, висмута -30 % и выходом хвостов 25-50% . Химический состав хвостов, %: Si O₂ - 31,4; Fe - 4,4; Ca O - 1,96; S - 1,88; Ag - 0,015; Cu - 0,18; Mn - 0,015; K₂O - 3,5; Al₂O₃ - 0,8; Ti O₂ - 0,03; Zn - 0,95; Pb - 0,84.

Извлечение металлов в раствор характеризуется данными: свинец от 13 до 34%, цинк от 10 до 46%.

Результаты исследования позволяют сделать выводы:

- активация в дезинтеграторе с выщелачиванием вне его увеличивает извлечение: по свинцу - в 1,4 раза, по цинку - в 1,1 раза;
- выщелачивание в дезинтеграторе по сравнению с вариантом раздельной активации и выщелачивания обеспечивает примерно такое же извлечение, но сокращает продолжительность процесса с 15 - 60 минут до первых секунд, т.е. на 2 порядка;
- в порядке убывания степени влияния на процесс, следуют: содержание в выщелачивающем растворе реагента, частота вращения роторов дезинтегратора; число циклов переработки в дезинтеграторе и соотношение Ж:Т.

Железистые кварциты КМА. Хвосты обогащения мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов представляют собой мелкодисперсный минеральный порошок с содержанием фракции крупностью менее 0,071 мм 40 - 70% по массе.

Химический состав хвостов: SiO₂ - 64%, Fe - 8%, Al₂O₃ - 5,2%, Mn - 3,2%, K₂O - 0,7%, P - 0,1%, Ca - 0,8%, MgO - 0,2%, Cu - 5·10⁻³%, Ni - 4·10⁻³%, Zn - 5·10⁻⁴%, As, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Li, Mo, Nb, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti, V, Y - на уровне (30-50)·10⁻⁵%.

При содержании железа в исследуемой пробе 8% однократным выщелачиванием извлечено примерно 1% железа, а после трехкратного пропускания хвостов через дезинтегратор в раствор 3% железа. При увеличении циклов переработки можно достичь безопасного по санитарным требованиям содержания железа.

После механохимической обработки содержание во вторичных хвостах не превышает допустимых для строительных материалов значений.

Переработка хвостов различными вариантами в течение одинакового времени характеризуется показателями (табл.1).

Таблица 1

Вид выщелачивания	Остаток в хвостах, %					
	Al ₂ O ₃	Mn	K ₂ O	P	Ca	MgO
Агитационное выщелачивание	4,9	2,8	0,3	0,07	0,25	0,16
Выщелачивание активированных хвостов	4,2	2,5	0,2	0,07	0,23	0,14
Выщелачивание в дезинтеграторе	3,7	2,3	0,2	0,06	0,20	0,11
Многokратная механохимическая активация	3,5	2,2	0,2	0,07	0,18	0,11

Активация в дезинтеграторе без выщелачивания увеличивает прочность смеси с добавкой цемента с 1,30 до 1,52 МПа или на величину коэффициента 1.17.

Угли Росийского Донбасса. Содержание металлов в хвостах обогащения углей характеризуется табл.2 [8].

Таблица 2

Содержание металлов в хвостах обогащения угля, г/т			
Элемент	Минимум	Максимум	Среднее
Марганец	310	330	320
Никель	10	40	25
Кобальт	5	10	5
Ванадий	60	130	95
Хром	50	140	85
Молибден	1	2	1.5
Цирконий	60	90	75
Свинец	20	90	55
Цинк	10	40	50
Бериллий	2	2.6	2.3

Извлечение в выпаренный и прокаленный продукт составило, %: кобальта – 104,5, никеля – 102,1, свинца – 43,5, цинка – 36,6, хрома – 18,0, марганца - 1,4%. Извлечение металлов больше 100% объясняется возможным превышением их содержания в выщелачиваемых материалах над содержанием в пробах исходных материалов. Извлечение металлов при их очень малом содержании в растворе, мг/л: марганец – 1, никель – 7, кобальт – 2, хром – 4, свинец – 3, цинк – 5 мг/л.

Хвосты механохимической активации отходов обогащения угля представляют собой дисперсную массу, сложенную частицами размерами около 0,1 мм, которые отличаются более равномерной структурой, что существенно повышает качество изделий на их основе. Это иллюстрируется увеличением прочности смеси, изготовленной на основе шлака, подготовленного разными способами: размолотого в мельнице и активированного в дезинтеграторе [9].

Использование хвостов обогащения приносит доход, величина которого описывается моделью:

$$\Pi = \sum_{p=1}^P \sum_{o=1}^O \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{n=1}^N \{ (M_{ey} \Pi_{my} + Q_y \Pi_{qy}) \} - \sum_{z=1}^3 [K(1 + E_{ny}) + E_q + E_x] - \\ - [(M_e \Pi_m + Q \Pi_q) + Q_r \Pi_r] K_c K_y K_T K_6 K_r K_{vp} K_{\chi} \rightarrow \max$$

где P - продукты утилизации хвостов; O - виды хвостов; П - процессы переработки хвостов; T - время переработки; F - фазы существования хранилищ; N - стадия использования хвостов; M_{ey} - количество металлов из хвостов; Π_{my} - цена металлов; Q_y - количество восстановленных эффектов; Π_{qy} - цена утилизированных веществ; E_q - коэффициент процентной ставки на кредит для утилизации; E_x - коэффициент процентной ставки на кредит для производства металлов; E_{ny} - коэффициент процентной ставки на восстановление окружающей среды; M_e - количество потерянных металлов; Π_m - цена потерянных металлов; Q - количество потерянных эффектов; Π_q - цена потерянных полезных веществ; Q_r - количество эффектов поражения среды; Π_r - затраты на компенсацию глобальных факторов поражения; 3 - затраты на управление; K - затраты на управление хранилищами; K_c - коэффициент самоорганизации хвостов; K_y - коэффициент утечки продуктов выщелачивания; K_T - коэффициент дальности утечки выщелачивающих растворов; K₆ - коэффициент влияния на биосферу; K_r - коэффициент влияния загрязнения на соседние регионы; K_{vp} - коэффициент реализации опасности со временем; K_χ - коэффициент риска поражения окружающей среды от неучтенных факторов.

Заключение

Потребности Человечества в металлах и далее будут возрастать. Повышение уровня обеспеченности черными, цветными, благородными и редкими металлами может быть достигнуто за счет вовлечения в производство техногенных запасов хвостов обогащения металлических руд.

С развитием тенденций природо – и недрособережения технологии подземной разработки должны компенсировать уменьшение объемов добычи открытым способом улучшением качества добываемого сырья за счет использования технологий добычи с сохранением земной поверхности закладкой пустот твердеющими смесями, изготовленными из отходов горно-обогажительного перелома.

Извлечение металлов из хвостов обогащения руд до требуемого санитарными нормами уровня адекватно обеспечивается использованием технологий с механохимической активацией. Корректность этого подтверждается сходимостью результатов их экспериментальной переработки.

Одним из основных положительных эффектов утилизации хвостов переработки, является исключение необходимости хранения источников химического заражения с возвращением земли в хозяйственное пользование.

Успех реализации концепции зависит от объемов комбинирования процессов химического выщелачивания и механической активации в рамках единого цикла. Вовлечение в производство в настоящее время омертвленных минеральных ресурсов следует рассматривать как практически неограниченную по объемам и запасам сырьевую базу для перерабатывающей промышленности. Оно сопоставимо с вовлечением в эксплуатацию новых месторождений.

Реализация концепции приобретает особую актуальность ввиду дефицита в России ряда металлов для обеспечения ее национальной безопасности.

Выводы

1. Хвосты обогащения становятся действенным фактором приращения сырьевой базы производства металлов.

2. Использование хвостов становится возможным после извлечения из них металлов до норм ПДК.

3. Использование хвостов в составе твердеющих смесей для управления состоянием массива с сохранением земной поверхности определяется геомеханическими условиями и корректируется технологией разработки месторождения.

4. Концепция утилизации хвостов обогащения металлических руд обеспечивает реализацию принципов природо- и ресурсосбережения.

Литература.

1. Российский статистический ежегодник. М. Федеральная служба государственной статистики. 2011 г.
2. Голик В.И. Природоохранные технологии разработки рудных месторождений. Инфра - М, М. 2014. 190 с.
3. Ветров С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. М., Наука, 1975.
4. Голик В.И. Управление состоянием массива. Инфра - М, М. 2014. 135 с.
5. Голик В.И. Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий. Горный журнал. 2013. №5.
6. Петин А.Н. Минерально-сырьевые ресурсы Курской Магнитной аномалии и экологические проблемы их промышленного освоения. Вестник РУДН. Москва. 2006. т.12.
7. Голик В.И. Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий. Горный журнал. 2013. №5.
8. Golik V.I., Komachshenko V.I., DrebenstedtK. Mechanochemical Activation of the Ore and Coal Tailings in the Desintegrators. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_101, Springer International Publishing Switzerland 2013.
9. Golik V.I., Komachshenko V.I., DrebenstedtK. Mechanochemical Activation of the Ore and Coal Tailings in the Desintegrators. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_101, Springer International Publishing Switzerland 2013.