

УДК 504.55.054:622(470.6)

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ

Голик Владимир Иванович,

д-р техн. наук, проф., проф. каф. технологии разработки месторождений
Северо-Кавказского государственного технологического университета,
Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44. E-mail: v.i.golik@mail.ru

Лукьянов Виктор Григорьевич,

д-р техн. наук, проф., проф.-консультант кафедры транспорта и хранения
нефти и газа Института природных ресурсов Томского политехнического
университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
E-mail: v.i.golik@mail.ru

Хашева Зарема Муратовна,

д-р экон. наук, профессор кафедры Южного Института менеджмента,
Россия, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 216.
E-mail: zarema_muratovna@mail.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью изыскания доступного и дешевого сырья для изготовления твердеющих смесей как средства неразрушающего управления состоянием массива при переходе на подземный способ разработки месторождений.

Цель работы: обоснование технической возможности и экономической целесообразности извлечения металлов и солей из хвостов переработки руд как условия их безотходной утилизации в качестве твердеющих смесей и других товаров.

Методы исследования: лабораторные исследования в дезинтеграторной установке ДЕЗ-11, включающие: исследование хвостов, выщелачивание металлов реагентами в перколяторах, комбинированное выщелачивание металлов реагентами в дезинтеграторе, математическое моделирование эколого-экономических исследований, моделирование параметров механохимической активации и статистическую обработку данных на основе множественного регрессионного и корреляционного анализа.

Результаты. Приведена историческая справка об использовании дезинтеграторов в горном деле. Выявлены новые закономерности извлечения металлов из хвостов цветной и черной металлургии и углеобогащения в зависимости от переменных параметров процесса. Доказано, что метод механоактивации позволяет извлечь металлы из хвостов до уровня санитарных требований, что позволит использовать вторичные хвосты для приготовления бетонной продукции без ограничений. Произведена технико-экономическая оценка рекомендуемой механохимической технологии с разработкой интегральной эколого-экономики-математической модели процесса и расчетом экономического эффекта вовлечения некондиционного минерального сырья в производство.

Выводы. Установлены количественные параметры извлечения металлов из хвостов цветной и черной металлургии и углеобогащения в зависимости от параметров механохимической активации. Доказана возможность извлечения металлов из хвостов методом механохимической активации в дезинтеграторе до уровня санитарных требований. Предложена эколого-экономики-математическая модель для оценки эффективности вовлечения некондиционного минерального сырья в производство. Сформулирована концепция безотходной переработки некондиционного минерального сырья, включающая экономические и экологические аспекты.

Ключевые слова:

Месторождение, минеральное сырье, металлы, хвосты обогащения, дезинтегратор, активация, механическая энергия, механохимия, экономика, экология, подземный способ, твердеющая смесь, добыча.

Введение

Добыча минерального сырья характеризуется увеличением объемов и ореола развития добычных работ, обусловленным динамичным развитием потребностей человеческого сообщества. Она давно вышла в лидеры природоразрушающих технологий, прежде всего, из-за нарушения земной поверхности в регионах добычи минерального сырья. Радикальное повреждение литосферы сопровождается деградацией всех сфер окружающей среды.

Поэтому главной целью управления состоянием массива горных пород должно быть сохранение земной поверхности от разрушения. Управление горным давлением сводится к обеспечению оптимальных параметров элементов системы «естественные

массивы – искусственные массивы – поверхность» по критерию сохранности земной поверхности [1–3].

Распространенным критерием эффективности управления состоянием массива горных пород является себестоимость связанных с этим работ или приведенные затраты на 1 м³ погашенных пустот. По этому критерию наиболее предпочтительно обрушение руд и пород с повышенными потерями сырья, разубоживанием и изменением экологического равновесия на участке земной коры. При оценке эффективности этого способа возможна систематическая ошибка, поскольку действительная стоимость земель, минерального сырья и изменения экологической обстановки пока еще не может быть выражена в материальном измерении.

Е.А. Котенко, В.В. Куликовым, Н.В. Демин, В.И. Голиком и др. предложен критерий оптимальности в виде условия сохранения земной поверхности от разрушения. Указанный критерий вводится при технико-экономическом сравнении технологий по конечной стоимости продукта [4, 5].

Благодаря критерию сохранности земной поверхности способы управления массивом становятся в сравнимые условия, отвечая концепции гуманного подхода к использованию недр и земли. Критерий исключает из числа возможных способы управления состоянием рудовмещающего массива с обрушением пород до выхода горных выработок на земную поверхность, породившие экологические проблемы в районах КМА, Донбасса, Урала и других горнодобывающих областей России и Зарубежья.

Для управления горным давлением используется свойство дискретных массивов создавать устойчивые конструкции за счет энергии разрушения пород. Несущая способность нарушенных пород корректируется технологией разработки путем назначения безопасных параметров очистных выработок.

Крепь участвует в процессе формирования волевок выработок устойчивых зон мощностью, равной первым метрам.

Нарушенные породы не теряют устойчивости, если не превышен предельный пролет (Г.Н. Кузнецов, В.Д. Слесарев, С.В. Ветров и др.) [6]. Условием существования породной конструкции является самозаклинивание пород в примыкающем к нетронутому массиву слое. Условия для использования остаточной несущей способности создаются всегда, но этот феномен не всегда используется, что ведет к разубоживанию руд и потерям металлов.

Усиление жесткости породной конструкции осуществляется инъектированием в пространство между породными кусками связующих материалов, креплением и ограничением пролетов выработок. Но радикальным способом управления массивом является создание искусственных массивов из твердеющих смесей.

Поскольку закладка пустот твердеющими смесями отличается повышенными затратами, проблемой становится обоснование возможности использования дешевых смесей с малой несущей способностью при определенных условиях.

В практике управление геомеханической сбалансированностью массива с сохранением земной поверхности обеспечивается разделением массивов на участки, для которых удовлетворяются условия [7]:

$$L_{\phi} < L_{\text{пред}} \text{ и } H > h_r,$$

где H , h_r – глубина работ от поверхности и высота зоны влияния выработок, м; L_{ϕ} , $L_{\text{пред}}$ – соответственно, пролеты фактические, предельные по условию образования свода естественного равновесия и сохранения плоской кровли; H – глубина расположения рудного тела; h_r – высота зоны влияния горных работ (рис. 1).

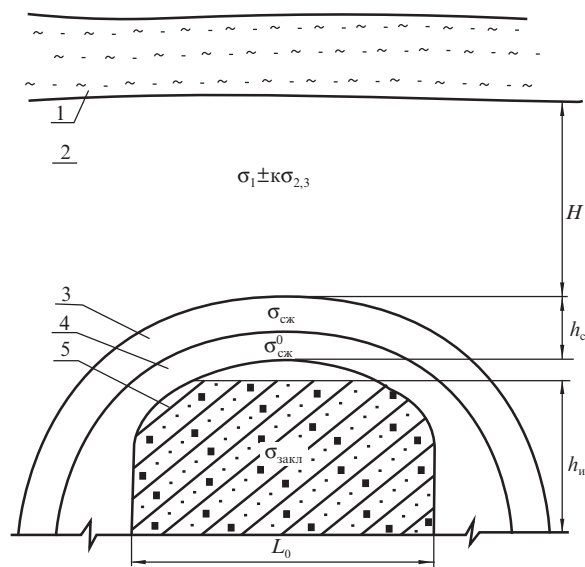


Рис. 1. Схема напряжений в геомеханической системе: 1 – наносы; 2 – горные породы; 3, 4 – соответственно, верхний и нижний слои нарушенных горных пород; 5 – искусственный массив из твердеющей смеси; H – глубина работ; h_c – высота свода естественного равновесия; h_n – высота искусственного массива; σ_1 – вертикальные напряжения в массиве; $\sigma_{ск}$ – напряжения в верхних слоях свода естественного равновесия; $\sigma_{ск}^\circ$ – напряжения в нижнем слое свода естественного равновесия; $\sigma_{закл.}$ – напряжения в искусственном массиве; L_0 – ширина выработки

Fig. 1. Diagram of stress in geomechanical system: 1 are the sediments; 2 are the rocks; 3, 4 are the upper and lower layers of dislocated rocks respectively; 5 is the artificial massif of hardening mixture; H is the depth of mining; h_c is the height of natural arch; h_n is the height of artificial massif; σ_1 is the vertical intensity in massif; $\sigma_{ск}$ is the stress in upper layers of the natural arch; $\sigma_{ск}^\circ$ is the stress in lower layers of the natural arch; $\sigma_{закл.}$ is the stress in artificial massif; L_0 is the heading width

Участки разделяются на пролеты с устойчивой плоской кровлей. Обеспечение устойчивости массива сводится к назначению параметров технологии, при которых напряжения в элементах системы не превышают критических. Эта задача решается раскройкой месторождения на геомеханически сбалансированные участки с помощью целиков: рудных или из твердеющей закладки. Надежность конструкции проверяется на возможность обрушения налегающих пород до поверхности построением зон влияния выработок (рис. 2).

В пределах геомеханически сбалансированных участков могут быть применены минимизированные по затратам труда и материалов составы твердеющих смесей пониженной прочности. Такой подход позволяет использовать для управления состоянием массива и земной поверхности над ним твердеющие смеси, изготовленные на основе материалов с пониженной активностью компонентов, чаще всего хвостов переработки руд [8, 9].

Накопление отходов добычи и переработки минерального сырья сопровождается химическим воздействием на среду токсичными компонентами

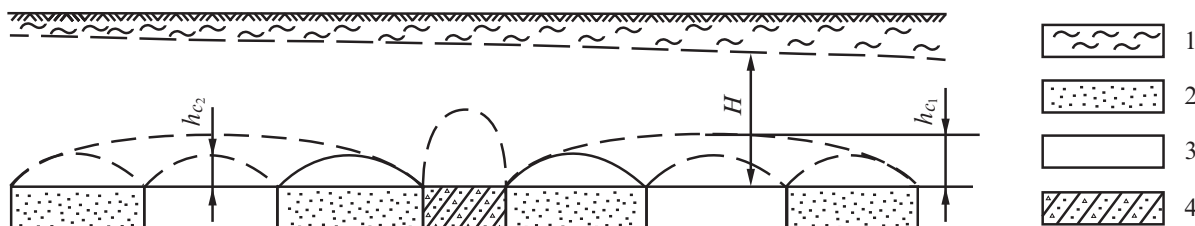


Рис. 2. Схема раскройки месторождения на геомеханически сбалансированные участки: 1 – наносы; 2 – малопрочная закладочная смесь; 3 – выработка; 4 – прочная закладочная смесь; H – расстояние от выработки до земной поверхности; h_1 – высота слоя смещающихся в выработку пород; h_2 – высота слоя смещающихся в выработку пород после заполнения закладочной смесью

Fig. 2. Diagram of field layout to geomechanically balanced regions: 1 are the sediments; 2 is the weak stowing mixture; 3 is the working; 4 is the hard stowing mixture; H is the distance from the working to the earth surface; h_1 is the height of the layer of rocks moving to the working; h_2 is the height of the layer of rocks moving to the working after filling with stowing mixture

отходов, среди которых наиболее опасны тяжелые металлы.

Комбинирование традиционных методов обогащения лишь в редких случаях позволяет утилизировать хвосты. Радикальной мерой снижения глобальной опасности химического загрязнения окружающей среды является только полная утилизация опасного и, вместе с тем, ценного сырья.

Природоохранная концепция обращения с отходами переработки минерального сырья исходит из того, что оно является неиспользуемым и опасным при хранении ресурсом, использование которого может обеспечить эколого-экономический эффект [10–12].

Применяемые методы добычи и переработки руд характеризуются потерей части ценных компонентов в хвостах на всех переделах (рис. 3).

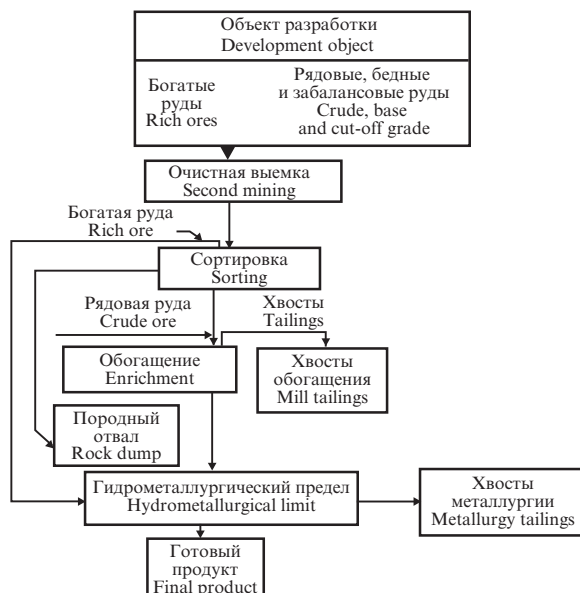


Рис. 3. Принципиальная схема добычи и переработки металлов

Fig. 3. Functional diagram of metal mining and processing

Так, комбинирование методов магнитного, гравитационного и электрохимического обогащения

позволяет выделять из богатых хвостов обогащения полиметаллических руд в селективные товарные продукты железо, марганец, титан, серу и другие компоненты.

Следующим этапом развития технологий обогащения является использование для извлечения металлов второго вида энергии – химической. В ходе химического выщелачивания металлы извлекаются из хвостов обогащения в растворы, а из них – в товарные осадки. Так выщелачивают золото из отходов обогатительного производства с содержанием 0,6–0,3 г/т, недоступным для традиционных технологий, медь и уран.

В ходе сорбционного выщелачивания извлекаемые из хвостов обогащения металлы осаждаются на ионообменную смолу, с которой снимаются в процессе десорбции (рис. 4).

Извлечение из жидкой фазы пульпы увеличивается в противотоке пульпа–смола наложением электрического поля.

Принципиально новая технология эксплуатирует ранее неизвестный феномен активации вещества большой механической энергией при скорости обработки более 250 м/с [13–15].

Под механической активацией понимают повышение каталитических свойств веществ при измельчении, ускорение химических реакций, повышение прочности. Эффект механической активации проявляется в дезинтеграторах (рис. 5).

Материал подаётся в центральную часть рабочего органа и подвергается многократным ударам бил на дисках, вращающихся со скоростью 1000 об/мин во встречных направлениях. За счет перегрузки в нем накапливается энергия особого вида и происходит структурное изменение его состояния. Скорость удара в дезинтеграторе на порядок больше, чем в вибрационных и шаровых мельницах, а ускорение достигает миллионов ускорений свободного падения.

Активация создаёт в материале электрически неравномерно заряженные центры, а по границам скоплений примесей происходит разрушение материала, поэтому процессы сепарирования фаз активизируются, а выход целевого продукта увеличивается.

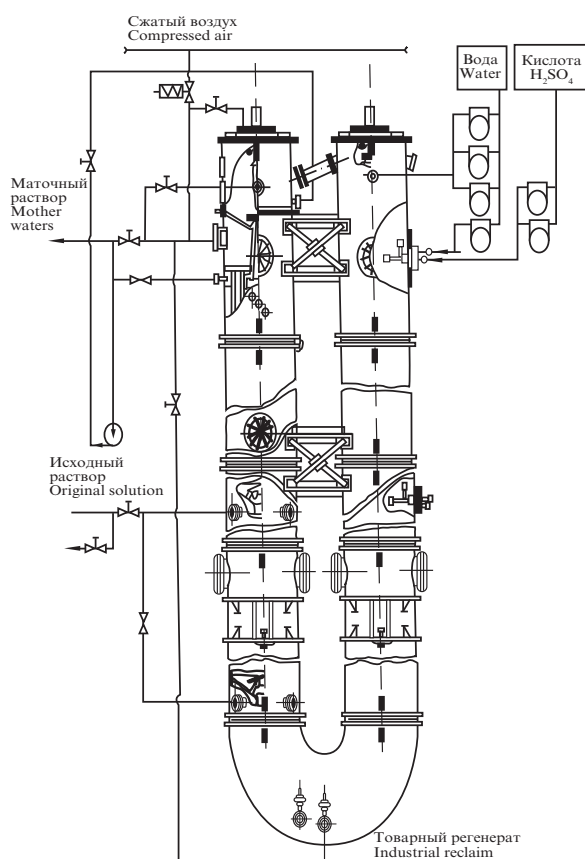


Рис. 4. Сорбционно-десорбционная колонна с противотоком пульпа-смола

Fig. 4. Sorption-desorption column with counter-flow pulp-resin

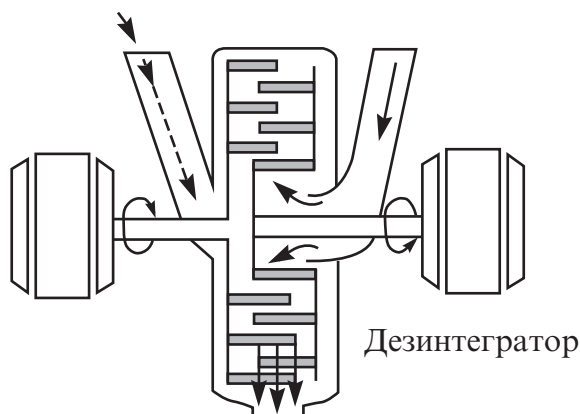


Рис. 5. Схема дезинтегратора

Fig. 5. Scheme of disintegrator

Результаты и обсуждение эксперимента

Использование дезинтегратора в горной практике впервые в мире осуществлено на месторождении «Шокпак» в Северном Казахстане в составе закладочного комплекса. Установка ДУ-65, укомплектованная универсальными ступицами, четырех- и трехрядными роторами и двигателями мощностью 200–250 кВт, обеспечивала выход активно-

го класса до 55 %, а в комбинации с вибрационной мельницей – до 70 %, что позволяло активированному шлаку конкурировать с товарным цементом.

Установка располагалась в отдельном здании с площадью основания 5–7 м в трех уровнях. Материал доставляли на верхнюю отметку и пропускали сквозь сито с отверстиями 20 мм в установку. Из дезинтегратора продукты измельчения поступали в бункер-успокоитель и направлялись в технологическую цепь. При мокрой схеме активации в дезинтегратор подавали воду.

Проблемой использования хвостов обогащения является наличие неизвлеченных металлов. Как правило, из руд извлекаются титановые металлы, а сопутствующие остаются, затрудняя дальнейшее использование хвостов. Суммарная стоимость неизвлеченных их хвостов и теряемых в закладочных смесях металлов может превосходить стоимость извлеченных.

Механохимическая технология позволяет одновременно с повышением активности компонентов смесей извлекать и металлы.

Экспериментальное обоснование этого феномена осуществлено на хвостах обогащения цветных и черных металлов и углей. Применена единая методика выщелачивания в режимах:

1. Агитационное выщелачивание необработанных хвостов.
2. Агитационное выщелачивание предварительно активированных хвостов.
3. Выщелачивание хвостов в дезинтеграторе.
4. Агитационное выщелачивание активированных в дезинтеграторе хвостов.
5. Многократное выщелачивание хвостов в дезинтеграторе.

Эксперименты осуществлены с использованием математического планирования по плану 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;
- соотношение массы выщелачивающего раствора и выщелачиваемой массы (X_3) в единичном эксперименте (50 г) 4–10 раз;
- 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 % от объема перерабатываемых руд. Химический состав хвостов, %: SiO_2 – 31,4; Fe – 4,4; CaO – 1,96; S – 1,88; Ag – 0,015; Cu – 0,18; Mn – 0,015; K_2O – 3,5; Al_2O_3 – 0,8; TiO_2 – 0,03; Zn – 0,95; Pb – 0,84.

Извлечение металлов в раствор характеризуется табл. 1 [9].

Результаты исследования позволяют сделать выводы:

- активация в дезинтеграторе с выщелачиванием вне его увеличивает извлечение из хвостов обо-

гащения: 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 одинаковое извлечение, но сокращает продолжительность процесса 15–60 минут до секунд, т. е. на 2 порядка.

Таблица 1. Результаты извлечения цветных металлов в раствор

Table 1. Results of extracting nonferrous metals into solution

Серии/Series	Свинец, %/Lead, %	Цинк, %/Zink, %
1	24,8	39,2
2	33,9	44,4
3	35,7	46,1
4	13,2	10,3
5	21,5	21,6
6	21,6	21,9

Результаты эксперимента позволяют утверждать:

- выщелачивание пульпы хвостов или руды с активацией в дезинтеграторе существенно эффективнее, чем агитационное выщелачивание;
- 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.

Курская Магнитная аномалия [16]. Хвосты обогащения мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов представляют собой мелкодисперсный минеральный порошок с содержанием фракции крупностью менее 0,071 мм 40–70 %.

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 исходном содержании железа в исследуемой пробе 8 % однократным выщелачиванием извлекается примерно 1 % железа, а после трехкратного пропускания хвостов через дезинтегратор в раствор – 3 % железа. Путем дальнейшего увеличения циклов переработки можно достичь безопасного по санитарным условиям уровня содержания железа.

Химический состав исходной пробы хвостов характеризуется содержанием As, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Li, Mo, Nb, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti, V, Y на уровне (30–50)·10⁻⁶ %. После механохимической обработки содержание во вторичных хвостах не превышает допустимых для строительных материалов значений.

Механохимическая активация при однократной обработке увеличивает извлечение металлов в раствор по сравнению с базовым значением на величину до 25 % и обладает резервом повышения при увеличении циклов переработки.

Переработка в течение одинакового времени характеризуется табл. 2.

Таблица 2. Результаты выщелачивания металлов

Table 2. Results of metal leaching

Вид выщелачивания Type of leaching	Остаток в хвостах, % Remains in tailings, %					
	Al ₂ O ₃	Mn	K ₂ O	P	Ca	MgO
Агитационное Agitation	4,9	2,8	0,3	0,07	0,25	0,16
Активированных хвостов Activated tailings	4,2	2,5	0,2	0,07	0,23	0,14
В дезинтеграторе In disintegrator	3,7	2,3	0,2	0,06	0,20	0,11
Множественная механохимическая активация Multiple mechanochemical activation	3,5	2,2	0,2	0,07	0,18	0,11

Максимальное извлечение достигается при механохимической активации хвостов и зависит от продолжительности процессов. Увеличивая продолжительность процесса, можно извлекать целевые компоненты до фонового содержания.

После извлечения металлов до уровня санитарных требований отходы обогащения пригодны для изготовления закладочных смесей и бетонной товарной продукции, обеспечивая необходимую марку при минимальном расходе цементного вяжущего.

Активация в дезинтеграторе без выщелачивания увеличивает прочность смеси с добавкой цемента с 1,30 до 1, 52 МПа или на величину коэффициента 1,17.

Активированные в дезинтеграторе смеси без добавления цемента могут быть использованы для закладки подавляющего объема очистных выработок.

Российский Донбасс [17]. Содержание металлов в хвостах обогащения угля характеризуется табл. 3.

Таблица 3. Содержание металлов в хвостах обогащения угля, г/т

Table 3. Metal content in coal saturation tailings, g/t

Элемент Element	Минимум Minimum	Максимум Maximum	Среднее Average
Марганец/Manganese	310	330	320
Никель/Nickel	10	40	25
Кобальт/Cobalt	5	10	5
Ванадий/Vanadium	60	130	95
Хром/Chrome	50	140	85
Молибден/Molybdenum	1	2	1.5
Цирконий/Zirconium	60	90	75
Свинец/Lead	20	90	55
Цинк/Zink	10	40	50
Бериллий/Beryllium	2	2,6	2,3

Результаты анализа сокращенных проб для горелых и негорелых хвостов обогащения приведены в табл. 4, 5.

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. При очень малом начальном содержании металлов в хвостах извлечение их в раствор оказалось достаточно высоким мг/л: марганец – 1, никель – 7, кобальт – 2, хром – 4, свинец – 3, цинк – 5.

Таблица 4. Извлечение металлов из горелых отходов обогащения угля

Table 4. Metal extraction from burnt wastes of coal saturation

Металл, % Metal, %	Упаренный концентрат Evaporated concentrate	Сухой концентрат Dry concentrate	Изменение, раз Change, times
Cr	0,01	0,10	10
Fe	0,85	2,75	3
Ni	0,03	0,30	10
Mn	0,01	0,10	10
Co	0,02	0,10	5
Cu	0,03	0,40	13
Pb	0,01	0,1	10
Zn	0,04	0,30	7

Таблица 5. Извлечение металлов из негорелых отходов обогащения угля

Table 5. Metal extraction from unburnt wastes of coal saturation

Металл, % Metal, %	Упаренный концентрат Evaporated concentrate	Сухой концентрат Dry concentrate	Изменение, раз Change, times
Cr	0,03	0,15	5
Fe	1,3	3,06	2
Ni	0,026	0,17	6
Mn	0,015	0,10	8
Co	0,03	0,12	4
Cu	0,03	0,30	10
Pb	0,01	0,10	10
Zn	0,02	0,14	7

Хвосты механохимической активации отходов обогащения угля представляют собой дисперсную массу, сложенную частицами размерами около 0,1 мм, которая отличается более равномерной структурой, что существенно повышает их строительные качества [18]. Это иллюстрируется разницей прочности бетона, изготовленного на основе шлака, просто размолотого в мельнице и активированного в дезинтеграторе при прочих равных условиях.

Использование хвостов обогащения приносит доход, величина которого может быть описана моделью:

$$\Pi = \sum_{p=1}^P \sum_{o=1}^O \sum_{\pi=1}^{\pi} \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{N=1}^N \{M_{ey} \Pi_{my} + Q_y \Pi_{qy}\} - \sum_{z=1}^3 [K(l + E_{ny}) + E_q + E_x] - [M_e \Pi_m + Q \Pi_q] + Q_y \Pi_q \cdot K_c K_y K_t K_o K_r K_{sp} K_q \rightarrow \max$$

где P – продукты утилизации хвостов; O – виды хвостов; π – процессы переработки хвостов; T – время переработки; F – фазы существования хранилищ; N – стадии 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_e – количество эффектов поражения среды; Π_r – затраты на компенсацию глобальных факторов поражения; Z – затраты на управление; K – затраты на управление хранилищами; K_c – коэффициент самоорганизации хвостов; K_y – коэффициент утечки продуктов выщелачивания; K_r – коэффициент дальности утечки растворов; K_o – коэффициент влияния на биосферу; K_t – коэффициент влияния загрязнения на соседние регионы; K_{sp} – коэффициент реализации опасности со временем; K_r – коэффициент риска поражения окружающей среды от неучтенных факторов.

Новая технология может быть эффективно применена для приготовления твердеющих смесей при закладке выработанного пространства образованных подземной отработкой месторождений технологических пустот [19].

Использование техногенных скоплений хвостов первичной переработки руд и вовлечение в производство забалансовых руд является одним из основных элементов концепции гуманизации природопользования [20].

Заключение

Накопление на земной поверхности некондиционного металлосодержащего сырья будет еще интенсивнее формировать глобальную проблему, радикальным решением которой может быть только утилизация опасного при хранении и ценного при потере техногенного сырья, в первую очередь для приготовления твердеющих смесей при подземной добыче полезных ископаемых.

Из традиционных и новых методов обогащения обеспечить соответствие смеси экологическим и технологическим требованиям в течение минимального времени позволяет только механохимическая активация хвостов в дезинтеграторе. Открытая разработка месторождений уступает место подземной разработке, например, на месторождениях КМА.

Реализация концепции безотходной утилизации некондиционного минерального сырья обеспечивает возможность использования хвостов переработки для приготовления твердеющих смесей. Успех реализации концепции зависит от объемов комбинирования процессов химического выщелачивания и механической активации в дезинтеграторе в рамках единого ресурсосберегающего цикла. Конечной целью реализации концепции является включение хвостов переработки в природный оборот.

Если традиционные обогатительные процессы не обеспечивают полного раскрытия минералов и не могут быть востребованы при глубоком извлечении металлов из хвостов обогащения, то метод механохимической активации повышает эффективность обогащения за счет увеличения количества и видов применяемой энергии, что обеспечивает быстрое проникновениевыщелачивающего раствора в образующиеся от разрушения частиц трещины.

Для эффективной реализации технологии механохимической активации необходимо решение

ряд вопросов: повышение стойкости рабочего органа дезинтегратора, оптимизации химического состава реагентов, селективное извлечение металлов из раствора и др.

Но не вызывает сомнения, что бесспорным эффектом предлагаемой технологии утилизации хвостов переработки является исключение необходимости их хранения на земной поверхности с минимизацией ущерба экосистемам окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амвросов А.Ф. Мониторинг опасных геологических процессов при недропользовании // ГИАБ. – 2014. – № 7. – С. 34–40.
2. Голик В.И., Полухин О.И. Подземная разработка месторождений. – М.: Инфра-М, 2013. – 263 с.
3. Смирнов С.М., Татарников Б.Б., Александров А.Н. Влияние геодинамических условий отработки рудного участка на технологию очистных работ с закладкой выработанного пространства // ГИАБ. – 2014. – № 11. – С. 25–31.
4. Трубецкой К.Н., Корнилов С.В., Яковлев В.Л. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 67–73.
5. Новая технология и оборудование для высокопроизводительной закладки выработанного пространства при подземной отработке месторождений / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, В.А. Арсентьев, В.В. Квитка, Р.Ш. Маннанов // Горный журнал. – 2012. – № 2. – С. 96–101.
6. Ветров С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. – М.: Наука, 1975. – 198 с.
7. Голик В.И., Полухин О.Н. Природоохранные технологии в горном деле. – Белгород: ИД Белгород НИУ БелГУ, 2013. – 281 с.
8. Golik V.I., Komashchenko V.I., Rasorenov Y.I. Activation of Technogenic Resources in Desintegrators // Mine Planning and Equipment Selection: 22nd conference. – Dresden, Germany, 14–19 October 2013. – Switzerland: Springer International Publishing, 2014. – P. 1101–1107. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_107.
9. Golik V.I., Komashchenko V.I., Drebenstedt K. Mechanochemical Activation of the Ore and Coal Tailings in the Desintegrators // Mine Planning and Equipment Selection: 22nd conference. – Dresden, Germany, 14–19 October 2013. – Switzerland: Springer International Publishing, 2014. – P. 1047–1057. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_101.
10. Борзаковский Б.А., Русаков М.И., Генкин М.В. Технология добычи руды с закладкой на вязущем из хлористого кальция // ГИАБ. – 2014. – № 4. – С. 87–92.
11. Грехнев Н.И. Минеральные отходы горных предприятий – экономические и экологические проблемы недропользования в Дальневосточном регионе // ГИАБ. – 2014. – № 8. – С. 127–133.
12. Ермолович Е.А., Шок И.А. Техногенные отходы в составе закладочных композиционных материалов // Горный журнал. – 2012. – № 9. – С. 87–92.
13. Хинт И.А. УДА-технология: проблемы и перспективы. – Таллин: Валгус, 1981. – 35 с.
14. Golik V.I., Rasorenov Y.I., Efremenko A.B. Recycling of ore mill tailings // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – V. 682. – P. 363–368. DOI: 10.4028.
15. Ракишев Б.Р. Комплексное использование руды на предприятиях цветной металлургии Казахстана // Горный журнал. – 2013. – № 7. – С. 123–129.
16. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailing usage in solidifying mixtures production / O.N. Polukhin, V.I. Komashchenko, V.I. Golik, C. Drebenstedt. – Freiberg, Germany: Medienzentrum der TU Bergakademie, 2014. – 413 p.
17. Голик В.И. Проблемы глубокой утилизации отходов переработки угля // Маркшейдерия и недропользование. – 2013. – № 4. – С. 57–63.
18. Терентьев Б.Д., Мухин С.Е. Проблема отходов угледобывающей промышленности на примере Восточного Донбасса и направления ее решения // ГИАБ. – 2013. – № 3. – С. 76–82.
19. Хашева З.М. О принципе симметрии региональной социально-экономической политики / Экономико-правовые аспекты стратегии модернизации России: к эффективной и нравственной экономике. Коллективная монография по материалам Междунар. науч.-практ. конф. – Краснодар: Изд-во ЮИМ, 2009. – С. 290–299.
20. Определение основных показателей использования недр. Разработка научных основ и способов ресурсосберегающей и экологически чистой технологии добычи полезных ископаемых / В.А. Шестаков, Ю.И. Разоренов, А.А. Белодедов, Т.В. Литовченко, С.А. Дубровин, Р.А. Малыгин. – Новочеркасск: Набл, 2005. – С. 95–102.

Поступила 16.12.2014 г.

UDC 504.55.054:622(470.6)

RATIONALE FOR FEASIBILITY OF USING ORE TAILINGS FOR MANUFACTURING HARDENING MIXTURES

Vladimir I. Golik,

North-Caucasian State Technological University, 44, Nikolaev street,
Vladikavkaz, 362021, Russia. E-mail: vigolik@mail.ru

Victor G. Lukyanov,

Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050,
Russia. E-mail: vigolik@mail.ru

Zarema M. Khasheva,

Southern Institute of Management, 216, Stavropolskaya street,
Krasnodar, 350040, Russia. E-mail: zarema_muratrovna@mail.ru

Relevance of the work is caused by the need to find affordable and cheap raw materials for manufacturing hardening mixtures as a means of non-destructive control over the state of the array in transition to underground mining.

The main aim of the research is to study the feasibility and economic viability of extracting metals and salts from ore tailings as a condition of their non-waste recycling as curing compounds and other goods.

Methods: laboratory studies in disintegrator installation Deux-11, including: study of tailings, metal leaching reagents in percolators, leaching of metals combined with reagents in a disintegrator, mathematical modeling of ecological and economic research, modeling parameters of mechanical activation and statistical processing of data based on multiple regression and correlation analysis.

Results. The paper introduces historical information about the use of disintegrators in mining. The authors have identified new patterns of extracting metals from tailings of ferrous and nonferrous metallurgy and coal washing, depending on the process variables. It is proved that the method of mechanical activation allows you to extract metals from the tailings to the level of sanitary requirements, which makes it possible to use the secondary tailings for preparing concrete products without restrictions. The authors carried out the feasibility study of the recommended mechanochemical technology with the development of integrated ecological-economic-mathematical model of the process and calculation of the economic effect of involving substandard mineral raw materials in production.

Conclusions. The authors determined quantitative parameters of metals extraction from tailings of ferrous and nonferrous metallurgy and coal washing, depending on the parameters of mechanical activation. The possibility of extracting metals from tailings by mechanical activation in the disintegrator to the level of sanitary requirements was proved. The author proposed the ecological and economic-mathematical model to evaluate the effectiveness of involving substandard mineral raw materials in production and stated the concept of waste-free processing of substandard mineral resources, including economic and environmental aspects.

Key words:

Mine, minerals, metals, tailings, disintegrator, activation, mechanical energy, mechanochemistry, economy, ecology, underground method, hardening mixture, mining.

REFERENCES

- Amvrosov A.F. Monitoring opasnykh geologicheskikh protsessov pri nedropolzovanii [Monitoring of dangerous geological processes in subsoil]. *GIAB*, 2014, no. 7, pp. 34–40.
- Golik V.I., Polukhin O.I. *Podzemnaya razrabotka mestorozhdeniy* [Underground mining]. Moscow, Infra-M, 2013. 263 p.
- Smirnov S.M., Tatarnikov B.B., Aleksandrov A.N. Vliyanie geodinamicheskikh uslovy otrabotki rudnogo uchastka na tekhnologiyu ochistnykh rabot s zakladkoy vyrabotannogo prostranstva [Influence of geodynamic conditions of working on pillar mining with goaf stowing]. *GIAB*, 2014, no. 11, pp. 25–31.
- Troubetskoy K.N., Kornilkov S.V., Yakovlev V.L. O novykh podkhodakh k obespecheniyu ustoychivogo razvitiya gornogo proizvodstva [New approaches to sustainable development of mining production]. *Gornyy zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 67–73.
- Kaplunov D.R., Rylnikova M.V., Arsentev V.A., Kvitka V.V., Mannanov R.Sh. Novaya tekhnologiya i oborudovanie dlya vysokoproduktivnoy zakladki vyrabotannogo prostranstva pri podzemnoy otrabotke mestorozhdeniy [New technology and equipment for high-stowing when underground mining fields]. *Gornyy zhurnal*, 2012, no. 2, pp. 96–101.
- Vetrov S.V. *Dopustimye razмеры obnazheniy gornyykh porod pri podzemnoy razrabotke rud* [Allowable dimensions of rock outcrop in ore underground mining]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 198 p.
- Golik V.I., Polukhin O.N. *Prirodookhrannyye tekhnologii v gornom dele* [Environmental technologies in mining]. Belgorod, ID NIU Belgorod BSU Press, 2013. 281 p.
- Golik V.I., Komashchenko V.I., Rasorenov Y.I. Activation of Technogenic Resources in Desintegrators. *Mine Planning and Equipment Selection: 22nd conference*. Dresden, Germany, 14–19 October 2013. Switzerland, Springer International Publishing, 2014. pp. 1101–1107. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_107.
- Golik V.I., Komashchenko V.I., Drebenstedt K. Mechanochemical Activation of the Ore and Coal Tailings in the Desintegrators. *Mine Planning and Equipment Selection: 22nd conference*. Dresden, Germany, 14–19 October 2013. Switzerland, Springer International Publishing, 2014. pp. 1047–1057. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_101.
- Borzhakovskiy B.A., Rusakov M.I., Genkin M.V. Tekhnologiya dobychi rudy s zakladkoy na vyazhushchem iz khloristogo kaltsiya [Technology ore production with laying on calcium chloride binder]. *GIAB*, 2014, no. 4, pp. 87–92.
- Grekhnov N.I. Mineralnye otkhody gornyykh predpriyatiy – ekonomicheskie i ekologicheskie problemy nedropolzovaniya v dalnevostochnom regione [Mineral waste of mining enterprises are the economic and environmental problems of subsoil in the Far East]. *GIAB*, 2014, no. 8, pp. 127–133.

12. Ermolovich E.A., Shock I.A. Tekhnogennye otkhody v sostave zakladochnykh kompozitsionnykh materialov [Technogenic waste as a part of filling composites]. *Mining Journal*, 2012, no. 9, pp. 87–92.
13. Khint I.A. *UDA-tehnologiya: problemy i perspektivy* [UDA-technology: problems and prospects]. Tallinn, Valgus publ., 1981. 35 p.
14. Golik V.I., Rasorenov Y.I., Efremenko A.B. Recycling of ore mill tailings. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 682, pp. 363–368. DOI: 10.4028.
15. Rakishev B.R. Kompleksnoe ispolzovanie rudy na predpriyatiyakh tsvetnoy metallurgii Kazakhstana [Integrated use of ores in non-ferrous metallurgy of Kazakhstan]. *Mining Journal*, 2013, no. 7, pp. 123–129.
16. Polukhin O.N., Komashchenko V.I., Golik V.I., Drebenstedt C. *Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailing usage in solidifying mixtures production*. Freiberg, Germany, Medienzentrum der TU Bergakademie, 2014. 413 p.
17. Golik V.I. Problemy glubokoy utilizatsii otkhodov pererabotki uglya [Problems of deep utilization of coal processing waste]. *Mine surveying and subsoil*, 2013, no. 4, pp. 57–63.
18. Terentev B.D., Mukhin S.E. Problema otkhodov ugledobyvayushchey promyshlennosti na primere Vostochnogo Donbasa i napravleniya ee resheniya]. The problem of coal industry waste by the example of the Eastern Donbass and directions of its solution]. *GIAB*, 2013, no. 3, pp. 76–82.
19. Khasheva Z.M. O printsipe simmetrii regionalnoy sotsialno-ekonomicheskoy politiki [The reflection principle of regional economic and social policy]. *Ekonomiko-pravovye aspekty strategii modernizatsii Rossii: k effektivnoy i нравstvennoy ekonomike* [Economic and legal aspects of Russia modernization strategy: an efficient and moral economy]. Krasnodar, YuIM Publ., 2009. pp. 290–299.
20. Shestakov V.A., Rasorenov Yu.I., Belodedov A.A., Litovchenko T.V., Dubrovin S.A., Malygin R.A. *Opredelenie osnovnykh pokazateley ispolzovaniya nedr. Razrabotka nauchnykh osnov i sposobov resursosberegayushchey i ekologicheskoy chistoy tekhnologii dobychi poleznykh iskopaemykh* [Determination of the main indicators of subsurface use. Development of scientific principles and methods of resource-saving and environmentally friendly technologies mining]. Novocherkassk, Nabla Publ., 2005. pp. 95–102.

Received: 16 December 2014.