

В.И. Голик, В.Б. Заалишвили, О.Н. Полухин

МЕХАНОХИМИЧЕСКОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ МЕТАЛЛОВ

Охарактеризовано направление радикальной утилизации отходов добычи и переработки руд. Рекомендована технология извлечения металлов из некондиционного сырья путем химического выщелачивания в дезинтеграторе. Приведены результаты экспериментов, подтверждающие эффективность механохимической переработки хвостов обогащения.

Ключевые слова: переработка руд, утилизация отходов, выщелачивание, хвосты обогащения руд.

В горнодобывающей отрасли России происходит изменение соотношения удельного веса открытого и подземного способов разработки. В ближайшей перспективе основные запасы металлических руд России предстоит добывать подземным способом разработки не потому, что достигается предельно доступная по экономическим соображениям глубина горных работ, а потому, что открытый способ разработки вступил в антагонистические противоречия с вопросами жизнеобеспечения регионов.

Необходимость обеспечения промышленности металлами при уменьшении запасов удобных для разработки месторождений, усугубляемая кризисными явлениями в экономике

стран, заставляют искать альтернативные источники получения металлов. Одним из направлений решения этих глобальных проблем является вовлечение в производство отходов добычи и переработки извлеченных на земную поверхность руд [1].

Комбинирование методов магнитного, гравитационного и электрохимического обогащения иногда позволяет выделять из хвостов товарные продукты, однако по экономическим соображениям редко бывает приемлемым.

Перспективным направлением считают извлечение металлов из хвостов добычи и переработки выщелачиванием в кучах и перколяторах, однако, эти процессы требуют много времени и недостаточно контролируются.

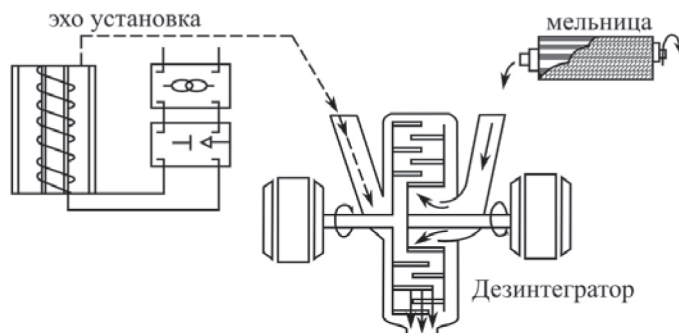


Рис. 1. Схема механохимической активации хвостов: ЭХО-установка электрохимической очистки воды с получением реагента-окислителя

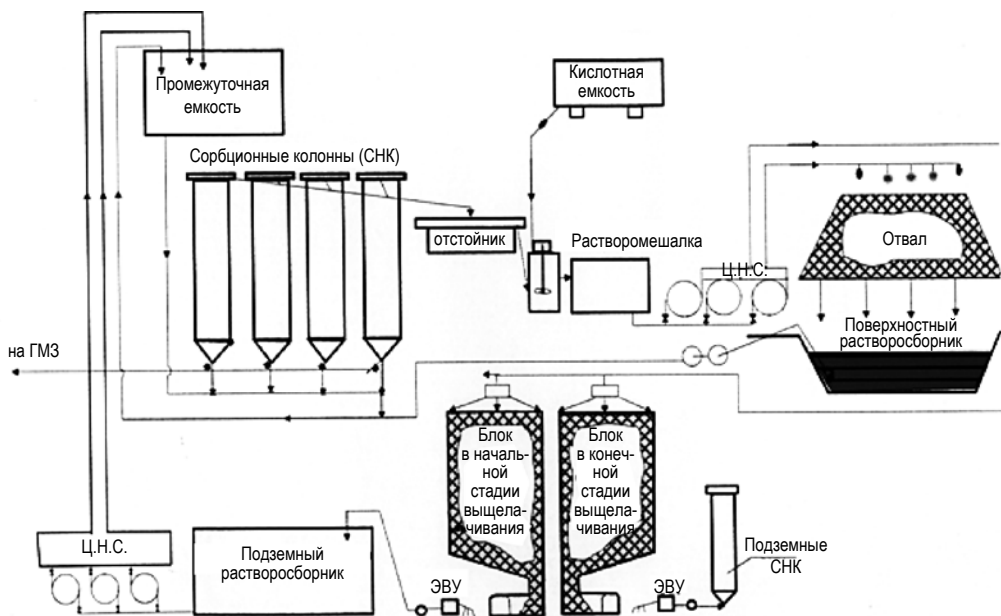


Рис. 2. Технологическая схема добычи урана выщелачиванием

Получает развитие метод извлечения металлов из некондиционного сырья, сочетающий элементы осуществляемого одновременно химического выщелачивания и механической активации в дезинтеграторе (рис. 1).

При обработке вещества в дезинтеграторе со скоростью вращения ротора более 250 м/с. вещество приобретает новые технологические свойства [2].

Положительный эффект обеспечивается тем, что при сочетании химического выщелачивания и механической активации в дезинтеграторе извлечение металлов в раствор выщелачивающий раствор интенсивно запрессовывается в образующиеся трещины от разрушения частиц. Сокращение времени извлечения металлов позволяет экономить энергию и труд.

При увеличении объема производства руд в горнодобывающих отраслях снижение объема добычи на открытых горных работах и увеличение значимости подземных горных работ

технологии подземной разработки должны компенсировать убывающие объемы открытой добычи. Одно из направлений этого – комбинированная отработка месторождений с применением скважинного, подземного и кучного выщелачивания [3].

Выщелачиванием в промышленных масштабах добывают пока только золото, медь и уран. В Лермонтовском горно-химическом рудоуправлении Минсредмаша СССР подземным и кучным выщелачиванием добывали уран с 1966 г. в течение 30 лет. Его опыт получил развитие в отечественной практике и в других странах (Висмут, ГДР). Технологии с выщелачиванием являются основными в Приаргунском горно-химическом комбинате (ППГХК) (рис. 2).

Скважинным выщелачиванием сейчас активно разрабатывают месторождение Семизбай (Казахстан).

Технологии подземного и кучного выщелачивания дают возможность получать дополнительный прирост

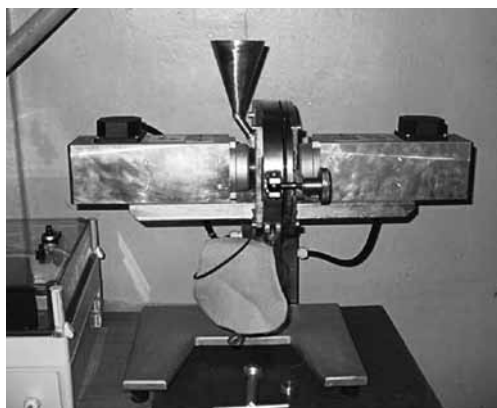


Рис. 3. Лабораторный дезинтегратор Дез-11

запасов на эксплуатируемых и вновь разрабатываемых месторождениях, что равносильно освоению крупных месторождений.

К 90-м гг. прошлого столетия в атомной промышленности был освоен полный комплекс технологий с выщелачиванием урана.

Наиболее доступным резервом упрочнения сырьевой базы производства металлов является утилизация хранящихся на земной поверхности запасов некондиционного металлического сырья, в первую очередь, хвостов обогащения руд.

В настоящее время утилизация хвостов считается нерентабельной. Ущерб от деятельности добытчиков минерального сырья перекладывается на людей, в том числе не имеющих отношения к горному производству. Заражение продуктами природного выщелачивания хвостов переработки влияет на все показатели благополучия экосистем окружающей среды.

Новая концепция обращения с некондиционным минеральным сырьем исходит из того, что поскольку нет возможности оценить действительный ущерб человеку, флоре и фауне, следует технологически исключить возможность нанесения этого ущерба, т.е. не хранить, а утилизировать хвосты [4].

Перспективы утилизации хвостов открывают технологии с выщелачиванием металлов, однако, одно только выщелачивание даже при сочетании с традиционными технологиями механической активации в агитаторах длится долго и не обеспечивает полного извлечения металлов.

Недостатком технологий с выщелачиванием является длительное время вскрытия металла или извлечение металла из рудного минерала в раствор. При выщелачивании даже с механической активацией процесса в «агитаторах» это время составляет сутки и недели, что препятствует распространению этой технологии.

Развитие возможностей выщелачивания продолжено в настоящее время в рамках грантов Минобрнауки РФ в Федеральном Государственном Бюджетном учреждении науки (ФГБУН) Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания и в учебных ВУЗах: СКГМИ, ЮРГТУ, БелГУ.

Результатами лабораторных исследований доказано, что извлечение металлов до уровня санитарных требований представляет технология с механохимической активацией процессов выщелачивания в дезинтеграторах или быстроходных мельницах. Она обладает решающими преимуществами по сравнению с традиционным выщелачиванием: уменьшение времени и увеличение извлечение металлов в 1,5–2 раза. Механохимическая технология позволяет извлекать из хвостов обогащения металлы до уровня санитарных требований.

Экспериментальное обоснование этого феномена осуществлено нами на хвостах обогащения цветных и черных металлов и углей с использованием единой методики выщелачивания в режимах:

- агитационное выщелачивание хвостов;
- агитационное выщелачивание активированных в дезинтеграторе хвостов;
- выщелачивание хвостов в дезинтеграторе (рис. 3).

Эксперименты осуществлены с использованием математического планирования по плану Венкена-Бокса с независимыми факторами:

X_1 – содержание серной кислоты в выщелачивающем растворе 2–10 г/л;

X_2 – содержание хлорида натрия в выщелачивающем растворе 20–160 г/л;

X_3 – соотношение массы жидкого и твердого в эксперименте (50 г) 4–10;

X_4 – время выщелачивания – 0,15–1,0 ч.

Хвосты обогащения свинцово-цинковых руд Садонских месторождений (Северный Кавказ) с химическим составом, %: Zn – 0,95; Pb – 0,84; Fe – 4,4; Cu – 0,18; Mn – 0,015; Ag – 0,015; SiO₂ – 31,4; CaO – 1,96; S – 1,88; K₂O – 3,5; Al₂O₃ – 0,8; TiO₂ – 0,03.

Извлечение металлов в раствор при единичном цикле переработки характеризуется данными: свинец от 13 до 34%, цинк от 10 до 46%. Активация в дезинтеграторе с выщелачиванием вне его увеличивает извлечение: по свинцу – в 1,4 раза, по цинку – в 1,1 раза; выщелачивание в дезинтеграторе обеспечивает примерно такое же извлечение, но сокращает продолжительность процесса с 15–60 минут до первых секунд или на 2 порядка; в порядке убывания на процесс влияют: содержание в выщелачивающем растворе реагента, частота вращения роторов дезинтегратора; соотношение Ж:Т.

Хвосты обогащения железистых кварцитов КМА с химическим составом %: Fe – 8, Al₂O₃ – 5,2, Mn – 3,2, Cu – $5 \cdot 10^{-3}$, Ni – $4 \cdot 10^{-3}$, Zn – $5 \cdot 10^{-4}$, SiO₂ – 64, K₂O – 0,7, P – 0,1, Ca –

0,8, MgO – 0,2, As, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Li, Mo, Nb, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti, V, Y – $30\text{--}50 \cdot 10^{-5}$.

При содержании железа в исследуемой пробе 8% однократным выщелачиванием в дезинтеграторе извлечено 1% железа, а после трехкратной переработки извлечено 3% железа. При дальнейшем увеличении циклов переработки достигается безопасное по санитарным требованиям содержание железа во вторичных хвостах [5].

Активация компонентов в дезинтеграторе увеличивает прочность твердеющей смеси с добавкой цемента с 1,30 до 1,52 МПа или на 17%.

Хвосты обогащения угля Российского Донбасса. Извлечение из растворов выщелачивания в выпаренный и прокаленный продукт составило, 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, отличающуюся более равномерной структурой, что существенно повышает качество бетонных изделий на их основе. Это иллюстрируется увеличением на 20–40% прочности смеси на основе шлака, подготовленного разными способами: размолотого в мельнице и активированного в дезинтеграторе.

Эффективность безотходной утилизации определяется соотношением затрат и ущерба от хранения отходов, производственной мощностью утилизирующего предприятия и его технологическим уровнем. Из числа возможных отбирается лучший вариант, для которого производят расчет оценочных показателей абсолютной эффективности инновации (рис. 4).

Концепт экономической эффективности технологии с механохимической переработкой хвостов обогаще-

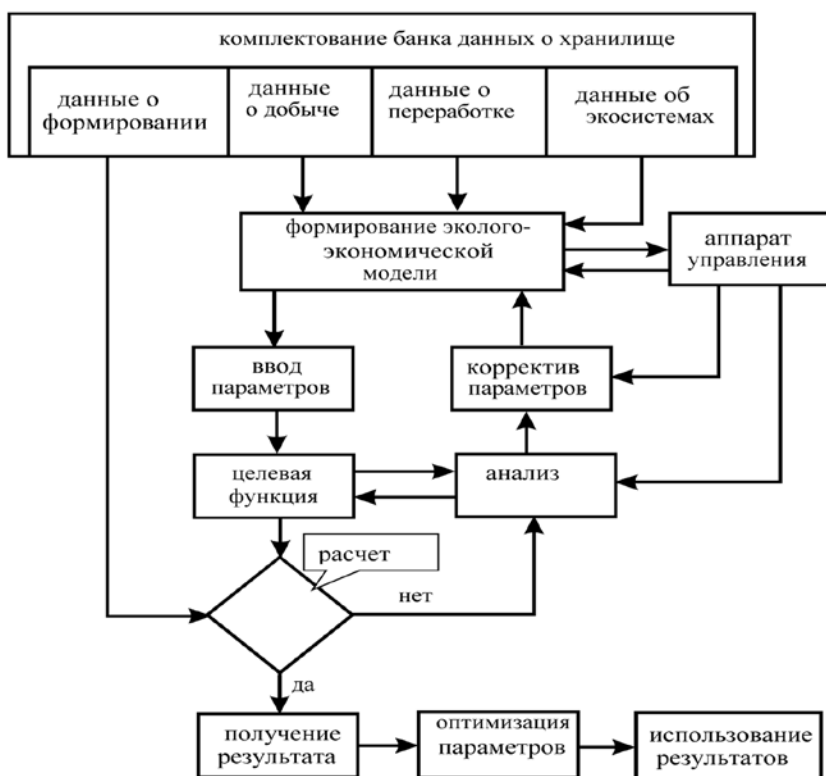


Рис. 4. Схема исследования эффективности утилизации

ния состоит в том, что при сравнимых затратах из уже извлеченного из недр сырья извлекается большее количество металла за счет утилизации некондиционного сырья [6].

Утилизация хвостов обогащения может быть прибыльной и без производства продукции из утилизируемых хвостов, если при этом радикально уменьшается опасность для окружающей природной среды:

$$\mathcal{E} = \sum_{t=1}^T \left(\sum_1^n C_6 - \sum_1^n C_o \right) \cdot Q$$

где C_6 и C_o – базовые и новые затраты, связанные с хранением отходов; Q – объем утилизируемых хвостов; n – виды отходов; T – время.

Наиболее перспективным направлением извлечения металлов является механохимическая активация хвостов

в аппаратах, где выщелачивающий раствор запрессовывается в образующиеся трещины, а извлечение металлов происходит одновременно с разрушением кристаллов короткое время.

По экспериментальным данным механохимическая активация хвостов обеспечивает извлечение металлов в интервале от 50 до 80% от их исходного содержания со снижением остаточного содержания до норм ПДК. Сходимость результатов исследований при переработке хвостов обогащения различных типов свидетельствует об корректности.

Важной особенностью механохимической технологии является то, что после извлечения металлов хвосты обогащения могут быть использованы в составе твердеющей смеси не толь-

ко в качестве инертных заполнителей, но и вяжущих компонентов, так как увеличение активности компонентов на 20–25% повышает прочность смеси до 1 МПа.

Механохимическая переработка осуществляется по схеме (рис. 5).

При утилизации хвостов обогащения в составе закладочных смесей экономический эффект создается за счет экономии цемента за счет увеличения количества фракций крупностью до 0,076 мм, объем которых достигает 85%.

В процессе механоактивации в раствор извлекаются все содержащиеся в хвостах металлы до уровня санитарных требований, после чего вторичные хвосты становятся безопасными и пригодными для изготовления твердеющей смеси и иной товарной продукции без ограничений.

Методами механохимической активации из хвостов обогащения выщелачивается от 60 до 80% содержащихся в них металлов, что превышает показатели переработки традиционными технологиями.

Экономическая эффективность безотходной утилизации хвостов обогащения складывается из стоимости из-

влеченных металлов, сырья для строительной индустрии и снижения величины ущерба окружающей среде от хранения хвостов в пределах лито-, гидро- и атмосферы.

При исходном содержании, например, свинца и цинка в хвостах 0,5% во вторичных хвостах будет содержаться не более 0,025 % металлов, что позволяет использовать их для производства товарной продукции строительного назначения. В конечном итоге некондиционное сырье полностью утилизируется, устраняя негативные последствия его хранения.

Время выщелачивания в дезинтеграторе на два порядка меньше времени агитационного выщелачивания, из чего следует, что выщелачивание хвостов или руды в дезинтеграторе, особенно при неоднократном пропускании более эффективно, чем агитационное выщелачивание. Сокращение времени выщелачивания использованием дезинтегратора открывает перспективы вовлечения в переработку омертвленного в хвостохранилищах металлосодержащего сырья в промышленных масштабах.

В раствор выщелачивания извлекаются практически все металлы, со-



Рис. 5. Схема извлечения металлов из хвостов обогащения выщелачиванием в дезинтеграторе

держась в исходной минеральной массе. При решении вопросов извлечения металлов из раствора экономическая эффективность процесса увеличивается многократно, что особенно важно для переработки хвостов комплексных руд, например, редкоземельных.

Эффективность предлагаемого решения включает в себя элементы:

- извлечение из хвостов переработки от 60 до 80% металлов;
- утилизация вторичных активированных хвостов в качестве строительных материалов: мелкая фракция (0,074 мм) в качестве вяжущего, а крупная в качестве инертного заполнителя.

Технология позволяет получать из хвостов обогащения товарные продукты: промышленные продукты; кон-

центраты; кварцевый флюс с содержанием меди; кварцевый песок для изготовления силикатного кирпича; кварцево-полевошпатный песок для стекла пищевого назначения; иловую фракцию для изготовления паст и использования при буровых работах и др.

Технология с выщелачиванием металлов в дезинтеграторе обеспечивает вовлечение в производство колоссальных минеральных ресурсов, создает новую сырьевую базу для горной промышленности и при использовании в промышленных масштабах заменяет необходимость вовлечения в эксплуатацию новых месторождений, что приобретает особую актуальность ввиду дефицита в России некоторых металлов для обеспечения ее национальной безопасности [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голик В.И., Цидаев Т.С., Цидаев Б.С. Повышение эффективности добычи руд на основе комбинирования традиционных и инновационных технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 4. – С. 11–18.

2. Голик В.И. Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации // Обогащение руд. – 2010. – № 5


3. Бубнов В.К., Голик В.И., Капканшиков А.М. и др. Актуальные вопросы добычи цветных, редких и благородных металлов. – Акмола: Жана Арка, 1995. – 601 с.

4. Голик В.И. Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбиниро-

вания физико-технических и физико-химических геотехнологий // Горный журнал. – 2013. – № 5.

5. Голик В.И., Полухин О.Н. Концепция извлечения металлов из хвостов переработки железных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. Специальный выпуск № ОС4. – 2013. – № 3.

6. Голик В.И. Упрочнение сырьевой базы цветной металлургии извлечением металлов из хвостов обогащения // Цветная металлургия. – 2010. – № 12.

7. Golik V.I., Komachshenko V.I., Drebenstedt K. 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. 

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Голик Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник,

Заалишвили Владислав Борисович – доктор физико-математических наук, профессор, директор,

Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания, e-mail: cgi_ras@mail.ru;

Полухин Олег Николаевич – доктор политических наук, профессор, ректор, Белгородский государственный исследовательский университет,

e-mail: pon@bsu.edu.ru.

MECHANOCHEMICAL LEACHING OF METALS

Golik V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher,
Zaalishvili V.B., Doctor of Physical and Mathematical, Professor, Director,
Center of Geophysical Research, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
and the Government of Republic of North Ossetia-Alania, e-mail: cgi_ras@mail.ru;
Poluhin O.N., Doctor of Political Sciences, Professor, Rector,
Belgorod State National Research University, e-mail: pon@bsu.edu.ru.

Characterized by radical direction waste mining and ore processing. Recommended technology for recovering metals from substandard raw materials by chemical leaching in a disintegrator. Experimental results confirm the efficiency of mechanochemical processing tailings.

Key words: processing of ores, waste disposal, leaching, tailings of ore. processing of ores, waste disposal, leaching, tailings of ore.

REFERENCES

1. Golik V.I. Cidaev T.S., Cidaev B.S. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*, 2012, no 4, pp. 11–18.
2. Golik V.I. *Obogashhenie rud*, 2010, no 5.
3. Bubnov V.K, Golik V.I., Kapkanshnikov A.M. *Aktual'nye voprosy dobychi cvetnyh, redkih i blagorodnyh metallov* (Topical issues in nonferrous, rare and noble metal mining), Akmol, Zhana Arka, 1995, 601 p.
4. Golik V.I. *Gornyj zhurnal*, 2013, no 5.
5. Golik V.I., Poluhin O.N. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*, special issue no OS4, 2013, no 3.
6. Golik V.I. *Cvetnaja metallurgija*. 2010, no 12.
7. Golik V.I., Komachshenko V.I., Drebenstedt K. *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.



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ЗАРИСОВКИ



Город Ла Ринконада в Перу расположен на высоте 5 099 метров над уровнем моря. Здесь живут 30 000 человек, большая часть которых занята добычей золота. Многие шахтеры работают бесплатно в течение месяца, а в последний день им разрешается взять столько руды, сколько они могут унести на своих плечах. При этом еще неизвестно, будет ли в руде золото или нет. Однако Ла Ринконада еще не самое высокое постоянное поселение. Существует две индийских деревни, которые находятся на высотах 5 170 и 5 219 метров.

Источник: en.wikipedia.org