

**В.И. Голик
О.Н. Полухин**

**ПРОБЛЕМЫ
ПОДЗЕМНОЙ
РАЗРАБОТКИ
РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
КМА**

ПРЕПРИНТ

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ГОРНАЯ КНИГА»
2013



УДК 504.55.054:622(470.6)
Г 60

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253-03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953.Д.014367.12.12

Голик В.И., Полухин О.Н.

Г 60 Проблемы подземной разработки рудных месторождений КМА // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск).— №ОС4. — 2013. — № 3. — 56 с.— М.: издательство «Горная книга»

ISSN 0236-1493

Показана роль Белгородской области в добыче железных руд. Произведена оценка перспектив добычи подземным способом с закладкой пустот твердеющими смесями. Сформулирована концепция утилизации хвостов: некондиционное минеральное сырье при использовании эффективных технологий обеспечивает эколого-экономический эффект. Приведены сведения о технологиях приготовления закладочных смесей с использованием техногенных компонентов. Рекомендована технология извлечения металлов из хвостов обогащения путем механохимической активации в аппаратах. Сформулированы задачи развития механохимической технологии и указаны защищенные патентами направления решения проблемы.

УДК 504.55.054:622(470.6)

ISSN 0236-1493

© В.И. Голик, О.Н. Полухин, 2013
© Издательство «Горная книга»,
2013
© Дизайн книги. Издательство
«Горная книга», 2013

ПРОБЛЕМЫ ДИВЕРСИФИКАЦИИ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ КМА

Охарактеризована роль Белгородской области в обеспечении национальной безопасности России. Освещены перспективы технологической диверсификации горного производства на подземный способ добычи металлических руд. Показана важность проблемы обеспечения конверсионной технологии твердеющими смесями для управления состоянием массива. Приведены сведения о технологиях приготовления закладочных смесей с использованием техногенных компонентов. Рекомендована технология извлечения металлов из хвостов обогащения путем механохимической активации в аппаратах. В качестве критерия эффективности технологии предложена ее корректность по отношению к природе. Приведены сведения о подготовке горных инженеров для области. Ключевые слова: диверсификация, горное производство, подземный способ, добыча, руда, технология, твердеющая смесь, техногенные компоненты, извлечение металлов, хвосты обогащения, механохимия, активация, горные инженеры.

Минерально-ресурсная позиция Белгородской области

От 16 % до 26 % мировых запасов железных руд находятся в России. По этому показателю на существенно опережает Украину, занимающую второе место, но по объему добычи находится на пятом месте, уступая Китаю, Бразилии, Австралии и Индии. Доля России в мировой добыче, составляя в начале тысячелетия более 8 %, к настоящему времени снизилась до 6 % на фоне увеличения объема производства Китая почти в три раза доли [1].

В Китае, Австралии и Бразилии железные руды отличаются высоким качеством: среднее содержание железа достигает 67 % и нередко не нуждается в обогащении. В России же запасы богатых руд не превышают 13 %, а в остальных запасах содержание железа не превышает 40 %. Бразилия и Австралия обеспечивают около двух третей объема мировой торговли железорудным сырьем, в то время как доля России в объеме мировых поставок составляет не более 3 %.

Будучи крупной сырьевой державой, Россия пока не преодолела опасности стать сырьевым придатком развитых стран. Она нередко экспортирует не рафинированные металлы, а продукцию первого передела сырой руды.

Некоторые российские металлургические комбинаты ввозят железную руду из-за высоких затрат на транспортировку российской руды (Магнитогорский металлургический комбинат ввозит концентрат и окатыши из Казахстана). Импорт сырья достигает половины экспорта.

По ряду видов минерального сырья: бокситы, цинк, хромовые и марганцевые руды, молибден, свинец и др. доля России в мировой добыче не превышает 3 %. Российские бокситы низкого качества позволяют удовлетворить не более 27 % потребностей металлургического производства, еще 18 % глинозема получают из нефелиновых руд, остальное сырье ввозится из-за рубежа. Доля России в мировом производстве алюминия снижается: в 1990 г. она составляла 15 %, в 2000 г. — чуть больше 13%, в 2006 г. — 11 %, в 2009 г. — 10 % не из-за снижения производства алюминия в России, а за счет увеличения выпуска китайского металла: за последние двадцать лет в 15 раз.

Низкая эффективность использования отечественной минерально-сырьевой базы и устаревшие технологии не позволяют решать проблемы полноты извлечения сырья из недр и комплексности его использования. Однако модернизация добывающих отраслей не входит в приоритеты развития сегодняшней экономики, хотя сырьевые отрасли являются базовыми в России.

Выход сырьевых отраслей на принципиально иной технологический уровень возможен при диверсификации горного производства. Применительно к условиям Белгородской области — это конверсия технологий добычи руд на подземный способ.

Белгородская область играет важную роль в обеспечении национальной безопасности России, обеспечивая добычу железных руд из месторождений Курской магнитной аномалии (КМА), которая при простирании 850 км и ширине до 200 км располагает 18 месторождениями железа с запасами 850 млрд. т железистых кварцитов и 80 млрд т богатых железных руд, что составляет 60 % запасов железных руд России или 20 % мировых [2].

На территории области находятся месторождения бокситов высокого качества, содержащие богатые железные руды и железно-алюминиевыми руды. Бокситовое сырье содержит промышленные концентрации особо дефицитных для России редких и рассеянных химических элементов.

Наиболее крупное Висловское комплексное месторождение железных руд и бокситов расположено в юго-восточной части Белгородского железорудного района. Залежи богатых железных руд имеют протяженность до 15 км, ширину от 300 до 2000 м, мощность от 6 до 225 м. Бокситы образуют пластообразные залежи протяженностью от 1–7 км при ширине до 1000 м и мощности от малой до средней.

Перспективы диверсификации горного производства

В Белгородской области запасы богатых железных руд на глубине до 150 м разрабатываются открытым способом: Лебединское, Южно-Лебединское и Стойленское месторождения. На сравнительно небольшой глубине в Новооскольском железорудном районе залегают и запасы Погромецкого и Чернянского месторождений.

Но основные запасы железных руд предстоит добывать подземным способом разработки не только потому, что увеличивается глубина локализации месторождений, например, Белгородское месторождение богатых железных руд расположено уже на глубинах 400-700 м, а потому, что открытый способ разработки вступил в антагонистические противоречия с жизненными интересами области, обладая экономическими и экологическими недостатками.

Большинство запасов месторождений региона не может извлекаться открытым способом по экономическим соображениям. Поэтому в ближайшей перспективе региону предстоит технологическая диверсификация: освоение технологий разработки месторождений подземным способом.

Среди технологий подземной разработки до недавнего времени лидировали варианты с обрушением налегающих пород, обеспечивающие высокие темпы разработки и сравнительно небольшие затраты на добычные процессы (рис. 1).

Для Белгородской области эти технологии неприемлемы априори, так как Центральный черноземный район, на территории которого расположена КМА, характеризуется высокой плотностью населения и располагает основными запасами черноземных пахотных земель, которые являются основой продовольственной безопасности России [3].

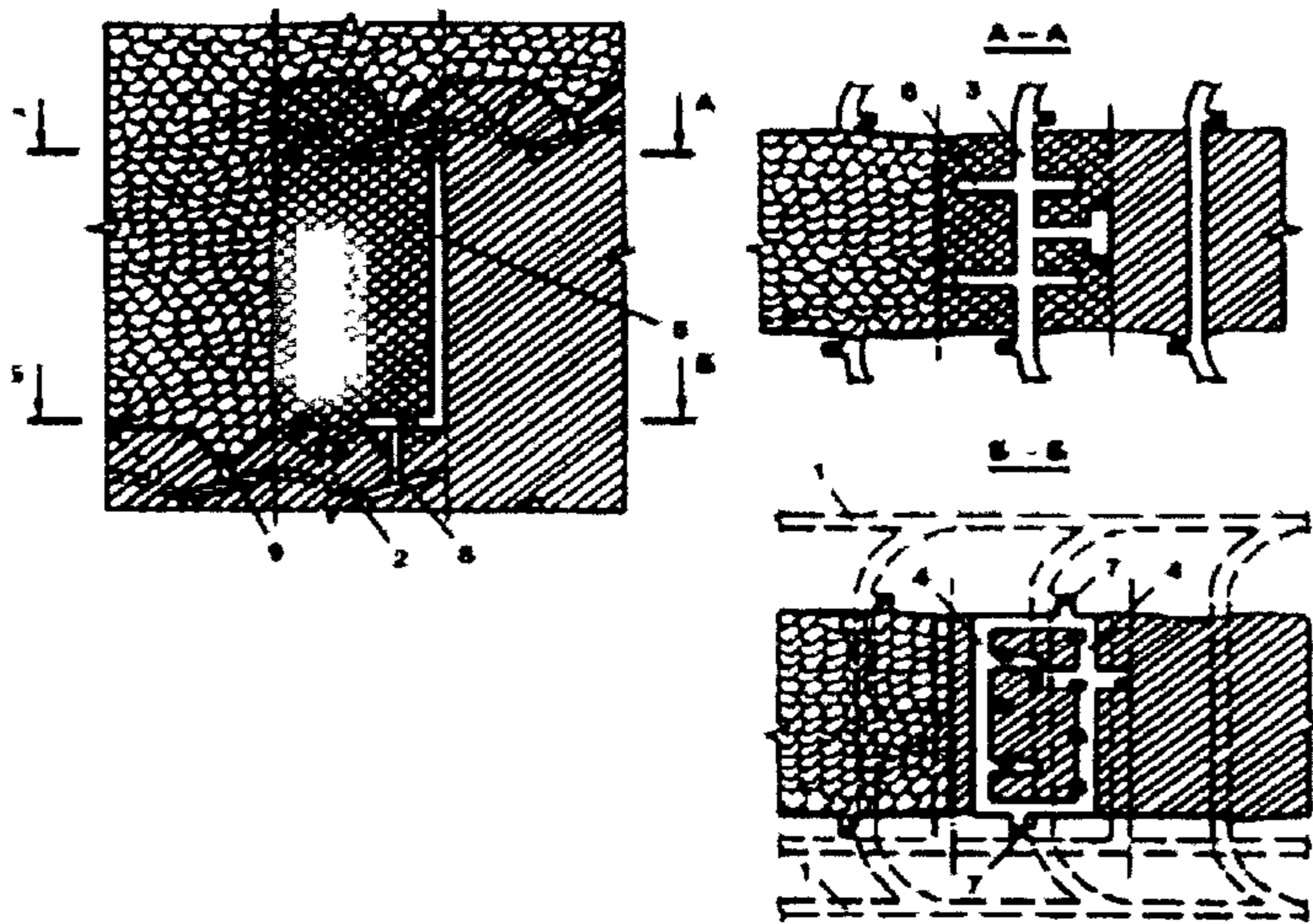


Рис. 1. Система разработки этажным принудительным обрушением со сплошной выемкой: 1 — штрек откаточный, 2, 3 — соответственно, квершлаг блоковый и вентиляционный; 4 — орт подсечный, 5 — восстающий отрезной; 6 — заходка буровая; 7 — ходок вентиляционный; 8 — дучка; 9 — воронка выпускная

Размеры и форма рудных тел, слагающих месторождения, их расположение в геомеханической системе и другие параметры позволяют прогнозировать в качестве основной технологии будущего камерную систему разработки с закладкой пустот твердеющими смесями (рис. 2).

Эта технология характеризуется хорошими показателями качества руд, полнотой использования недр и высокой производительностью добычи, но требует высоких эксплуатационных затрат на изготовление твердеющих закладочных смесей, что увеличивает стоимость товарной продукции.

В рамках программы модернизации горнодобывающей отрасли региона горные предприятия наращивают производственную мощность. «Лебединский ГОК» с целью увеличения производства концентрата к 2016 г. до 24 млн т/г. улучшает технологии обогащения руд. «Стойленский ГОК» увеличивает производственную мощность с 32 до 42 млн т/г. «Комбинат КМА руда» занимается техническим перевооружением дробильно-обоганительной фабрики для увеличения производственной мощности до 7 млн т/г.

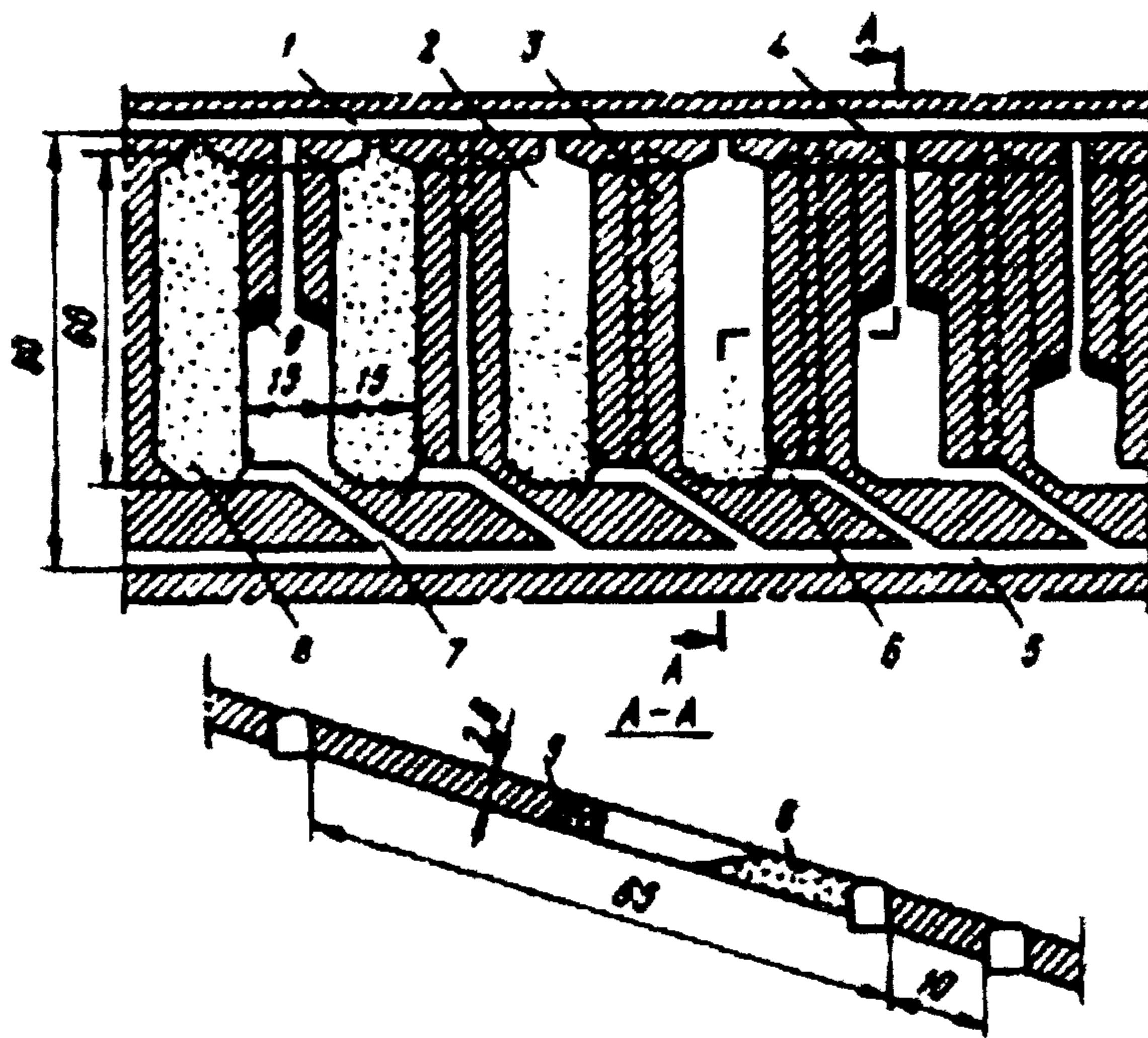


Рис. 2. Камерно-целиковая система разработки с закладкой: 1 – вентиляционный штрек, 2 – камера; 3 – междукамерный целик; 4 – буровой восствяющий; 5 – доставочный штрек; 6, 7 – заезды; 8 – закладка; 9 – скважины

«Металл-групп» на базе Яковлевского месторождения строит предприятие по добыче 4,5 млн т/г. богатых железных руд подземным способом.

Критическим звеном диверсификации производства является решение проблем обеспечения конверсионной технологии твердеющими смесями для заполнения технологических пустот.

Считается, что регион ими располагает в достаточном количестве [4]. Область располагает значительными запасами цементного сырья – мела, глин, суглинков, выветрелых сланцев и т.п. Для добычи перспективны Белгородское и Стойленское месторождения. В качестве карбонатной составляющей при производстве цемента пригоден мел Приоскольского месторождения. Запасы пригодных для горного производства песков учтены в пределах 15 месторождений.

Но добыча компонентов твердеющих смесей в объемах, сравнимых с объемами добычи руд, еще более усугубит экологическую ситуацию в регионе, которая и сейчас уже квалифицируется как катастрофическая.

Пионерными исследованиями условий формирования закладочных массивов в подземных очистных выработках установлено, что параметры набора прочности закладочными смесями соответствуют требованиям к строительным бетонам. Разогрев твердеющей закладки за счет химических процессов гидратации цемента происходит до 72 °С и улучшает параметры термообработки закладочного массива. Вслед за повышением температуры тепловой режим закладочного массива стабилизируется в течение 1-2 с. с сохранением температуры в нужных пределах [5].

При переработке 1 т концентрата образуется около 1,5 т отходов, что увеличивает техногенные запасы хвостохранилищ КМА на 60 млн т/г. С учетом же объемов вскрыши при производстве 1 т концентрата образуется 3-5 т отходов.

Поэтому заслуживает развития направление изготовление закладочных смесей с заменой дорогостоящего и дефицитного промышленных вяжущих и природных заполнителей техногенными компонентами, в том числе: доменный гранулированный шлак, доломитовый щебень, известняковый щебень, отходы обогащения железистых кварцитов, алюмотермический шлак, известково-гипсовые смеси, шлаки и др.

Крупность материалов от 200 нм до 71 мкм обеспечивает необходимую активность частиц в процессе взаимодействия, но увеличивает потребность закладочных смесей в воде, что ослабляет прочность искусственных массивов.

Технологически и экономически целесообразнее использование текущих хвостов обогащения металлических руд с увязкой процессов обогащения и приготовления смесей в единую систему.

Белгородскими учеными установлено, что измельчение хвостов обогащения железистых кварцитов до образования тонкодисперсной фракции сопровождается изменением активности хвостов обогащения с повышением их дисперсности. Увеличивается однородность распределения компонентов смесей, что улучшает параметры закладочных смесей.



Рис. 3. Схема приготовления твердеющей смеси на основе хвостов обогащения

Предел прочности при сжатии образцов через 90 с. составляет 6-13 МПа, что отвечает максимальным требованиям к искусственным массивам. При этом доля утилизации техногенных отходов превышает 94 % в пересчете на сухое вещество [6].

Однако, массовому использованию хвостов обогащения в качестве компонентов твердеющих смесей препятствует наличие не извлекаемых традиционными технологиями металлов.

В настоящее время перспективным направлением извлечения металлов из хвостов обогащения является механохимическая активация их в аппаратах, где выщелачивающий раствор запрессовывается в образующиеся трещины, и извлечение металлов

происходит одновременно с разрушением кристаллов. Технология обеспечивает извлечение металлов в интервале от 50 до 80 % от исходного содержания в хвостах со снижением остаточного содержания до норм ПДК [7].

После извлечения металлов и солей хвосты обогащения могут быть использованы в составе смеси не только в качестве инертных заполнителей, но и вяжущих, обеспечивая необходимую прочность смеси (рис. 3).

Классификация хвостов по крупности увеличивает прочность смеси на величину в 2 раза. Это в особенности относится к карбонатным компонентам размером до 0.074 мм. Активация в дезинтеграторе повышает прочность твердеющих смесей еще на 40%.

Направления развития горных предприятий

Концепция освоения разведанных и обладающих развитой инфраструктурой месторождений реализуется решением инновационных технологических задач, в том числе:

- освоение новых технологии разработки месторождений, например, выщелачивания металлов как альтернативы традиционным технологиям с потерями металлов в недрах и при пирометаллургическом переделе;

- освоение технологий глубокой переработки отходов производства с полной реабилитацией нанесенного окружающей среде ущерба.

Преобладающей в настоящее время практике прекращения эксплуатации нерентабельных для традиционной технологии разработки месторождений может быть противопоставлен курс конверсии действующих месторождений на новые технологии с увеличением количества запасов в разы без больших затрат. Среди комплекса положительных эффектов конверсии одним из основных является возможность охраны геологической среды от полной деградации при техногенной агрессии.

Важным экономическим аспектом перспектив развития горнодобывающей отрасли Белгородской области является возможность утилизации попутных металлов в процессе приготовления твердеющих смесей из хвостов обогащения.

Добыча редких металлов (тантала, ниобия, бериллия, лития, цезия, редкоземельных металлов) а также рассеянных элементов (рения, германия, гафния и др.) в России практически не осуще-

ствляется, а внутренний спрос на них удовлетворяется преимущественно импортной продукцией.

В пределах Лебединского месторождения развиты протяженные и мощные зоны повышенной сульфидизации, с которыми связаны высокие концентрации благородных металлов. Примером благороднометалльного оруденения служат золоторудные концентрации в зоне тектонического контакта стойленской и коробковской свит. Повышенное содержание золота (4-32 г/т) отмечены в хлорит-кварцевых сланцах с прожилками кварца и сульфидов [8].

В интенсивно сульфидизированных породах содержится Pt + Pd = 0,3-4,3 г/т; Pt/Pd = 0,2-0,9; Au = 0,1-0,2 г/т, в сульфидсодержащих карбонат-кварцевых, силикатно-кварцевых, эгириновых жилах Pt + Pd до 0,6 г/т; Pt/Pd среднее 4,3; Au до 0,2 г/т), в эгиринизированных и сульфидизированных железистых кварцитах Pt + Pd = 0,12 г/т; Pt/Pd = 24; Au = 0,4 г/т.

Значительные концентрации благородных металлов установлены: в пирите, пирротине, халькопирите; галените, теллуриде висмута, борните, теннантите и арсенопирите.

Выявленные в железистых кварцитах Лебединского месторождения проявления благороднометалльного оруденения сравнимы с запасами золотоплатинометалльного месторождения и являются основой техногенных месторождений — отвалов хвостов обогащения железных руд на предприятиях КМА.

Эти элементы периодической системы могли бы извлекаться в раствор при выщелачивании в дезинтеграторе и из раствора в ходе металлургического передела. Учитывая высокую стоимость товарной металлической продукции, экономика региона получила бы существенные резервы без особых капитальных затрат на перевооружение производства и инфраструктуру.

Экологический аспект проблемы

Существующая стратегия освоения железорудных месторождений КМА основана на открытой добыче железистых кварцитов с попутной выемкой богатых руд в сводовой части Воронежской антиклизы с относительно небольшой (50-200 м) мощностью перекрывающих осадочных пород: Лебединского, Стойло-Лебединского, Стойленского и Михайловского. Подземным способом отрабатывается только Коробковское месторождение.

Во всех случаях применяется мощное оборудование. Вскрышные работы производятся мощными шагающими экскаваторами. Отделение от массива осуществляется взрыванием взрывчатых веществ в скважинах. За один прием отбивают 100-150 тыс. т руды. Отбитую руду экскаватором с грузоподъемностью ковша около 25 т грузят на самосвалы грузоподъемностью 120-130 т, транспортируют к складу, перегружают в железнодорожные вагоны и перевозят на обогатительное предприятие, где она обогащается. Весь производственный цикл представляет собой прямую угрозу живому веществу в пределах влияния горного производства.

Области, вмещающие КМА, характеризуются площадью от 24 до 52 тыс. км² и населением от 1,3 до 2,5 млн чел. с плотностью населения от 38 до 55 чел./км². Белгородская область обладает не только уникальными запасами минерального сырья, но и высокопродуктивными земельными угодьями. Она является одной из ведущих в России по производству сельскохозяйственной продукции, прежде всего сахарной свеклы и мяса. Значительные площади заняты подсолнечником. Развиты мясомолочное животноводство, птицеводство, пчеловодство.

Под карьеры и промышленные объекты отведены ценные земли, например, в Старооскольско-Губкинском промышленном районе - 15 тыс. га. Нарушенные земли существующими технологиями рекультивации не могут быть восстановлены. Из образовавшихся отходов утилизируется не более 6 %.

Горнорудное производство соседствует с высокоразвитым сельскохозяйственным производством, включающим ценные и перспективные направления (табл. 1).

Регион КМА обладает исключительно ценными земельными ресурсами: свыше 70 % от общей территории составляют плодородные черноземы, основная часть которых распахана.

По производству валовой продукции на втором месте после черной металлургии находится пищевая промышленность, в составе которой наибольшее значение имеют сахарная, масложировая, плодоовощеконсервная, мясная, молочная.

Важной проблемой для КМА является комплексность использования сырья. Строительные глины, мергель, песок, известняк, сланцы, содержащиеся во вскрышных породах и отходах

Таблица 1

Показатели взаимодействия горного и сельскохозяйственного производств

Области КМА	Площадь, тыс. км ²	Население, млн	Плотность, чел./км ²	Минеральное сырье	Сельскохозяйственные направления
Белгородская	27,1	1,48	55	железо, бокситы, строительное сырье	зерно, свекла животноводство, птицеводство, пчеловодство
Воронежская	52,4	2,49	47	строительное сырье	зерно, свекла, подсолнечник, табак, конопля, эфирносы
Курская	29,8	1,34	45	железо, строительное сырье	зерно, кормовые, конопля, животноводство, птицеводство
Липецкая	24,1	1,25	52	строительное сырье, доломит	зерно, подсолнечник, животноводство, птицеводство, овцеводство
Тамбовская	34,3	1,3	38	строительное сырье, фосфориты, краски, торф	зерно, свекла, подсолнечник, картофель, животноводство, птицеводство

обогащения горнодобывающих предприятий, практически не используются.

Учитывая перспективу развития добычи металлов в Белгородской области, научное обоснование обеспечения равновесного гармоничного взаимодействия технологии и окружающей среды приобретает лидирующую роль. Решение этой проблемной задачи обостряется в условиях ослабленных эколого-ресурсных экосистем, к которым относятся регионы КМА.

Деятельность карьеров оказывает разрушающее воздействие на прилегающие районы в радиусе до 30-50 км и более. Выбросами в атмо- гидро- и биосферу предприятия оказывают прямое влияние на почву прилегающих к карьере территорий и косвенное на другие регионы Земли.

При взрывах на карьерах образуется пылевое облако объемом в десятки млн м³. Высота подъема выбросов достигает 2 км. Пылегазовое облако распространяется на значительные расстояния, из него в радиусе до 10 км рассеивается мелкодисперсная пыль, содержащей до 98 % частиц размеров менее 5 мкм.

Часть запасов железных руд на глубине 450—1000 м, локализованная в слабосвязанных рыхлых пливунных породах, на месте залегания переводится в гидравлическую смесь и транспортируется по скважинам на поверхность (СГД). Создание искусственных полостей деформирует породы вышележащей толщи, провоцируя их просадку, нарушение гидрогеологического режима подземных вод и деградацию окружающей среды.

Нарастание техногенной нагрузки на окружающую среду проявилось, прежде всего, в ухудшении качества воздушного бассейна селитебной территории г. Старый Оскол. Объем выбросов промышленных предприятий г. Старый Оскол составляет более 50 % от всего объема валовых выбросов по Белгородской области.

В выбросах промышленных предприятий регистрируется более 55 химических элементов, из которых 9 относятся к 1 и 2 классам опасности. Зона максимального воздействия на ландшафты радиусом 15—20 км от центра горнодобывающего комплекса характеризуется высоким уровнем техногенной нагрузки на поверхность земли (500—1000 кг/га в год), повышенной реакцией почвенной среды (рН – 7,5—8,5), накоплением в почве свинца, цинка, никеля, меди, марганца и других элементов. Суммарные удельные нагрузки достигают 500 г пыли на 1 м³ добываемого полезного ископаемого.

Открытая добыча полезных ископаемых ведет к формированию техногенного рельефа, появляются новые отрицательные формы рельефа, активизируются экзогенные процессы.

Крупнейший из железорудных карьеров — Лебединский — достигает глубины 350 м с размахом «крыльев» около 2,5 км. Вокруг карьеров в радиусе 5—10 км образовалось множество балок и оврагов, вместимостью около 4 млрд. куб. м.

В Старооскольско-Губкинском районе возникли не только выемки глубиной 250 — 300 м, но и отвалы высотой до 60 м или «горы» из пород вскрыши и отходов обогатительных фабрик.

Площадь прямого нарушения земель карьерами достигает 16 тыс. га. Для Белгородской области это около 0,6 % ее площади, а для Губкинского и Старооскольского районов — это 5 % территории.

Аспекты нарушений окружающей среды открытой разработкой типизированы нами по их характеру (табл. 2).

Таблица 2

Типизация нарушений окружающей среды открытой разработкой

Типы нарушений	Причины, вызывающие нарушения природной среды	Характерные виды нарушений
Геомеханические	Строительство карьеров, отсыпка отвалов, сооружение насыпей и траншей, деформация поверхности в результате разработки, хранение отходов, воздействие карьерного оборудования	Изменение рельефа местности, геологической структуры массива, грунтов, почвы. Механические повреждения и уничтожение почвы. Изменение структуры использования поверхности.
Гидрологические	Дренирующее воздействие горных выработок на породный массив. Деформация поверхности в связи с дренажом вод. Смещение направления водостоков. Загрязнение внутренних и внешних вод. Откачка подземных вод для различных целей. Дренаж месторождений.	Изменение уровня подземных вод и параметров гидрографической сети. Ухудшение качества вод водоносных горизонтов, инженерно-геологических свойств грунтов и водного режима в почве. Оседание поверхности. Изменение режима подпитки рек.
Химические	Эмиссия газов и химически активной пыли. Сбросы загрязненных органическими и неорганическими компонентами вод. Воздействие токсичных компонентов отвалов	Изменение состава и свойств атмосферного воздуха, подкисление, засоление, загрязнение вод, подкисление, алкализация, засоление, увеличение токсичных элементов почв.
Физико-механические	Эмиссия пыли и аэрозолей из атмосферы и вод, загрязненных суспензией и гидрозолями.	Изменение состава и свойств атмосферного воздуха, вод и почвы.
Термические	Загрязнение воздуха пылегазовыми компонентами	Изменение состава и свойств атмосферного воздуха, биохимических процессов в экосистемах и микроклимата

Карьерные сточные воды сбрасываются в поверхностные водотоки, до 70 % вод, откачиваемых из месторождений КМА, поступает в реки, изменяя их водные режимы. В результате эксплуатации Лебединского и Стойленского карьеров запасы подземных вод истощены на территории около 200 км², их уровень понизился до 200—250 м, образовав депрессионную воронку.

Механизм воздействия горных работ на окружающую среду

В вертикальном разрезе месторождений КМА выделяются зоны:

- наиболее глубоко залегающая зона локализации полезных ископаемых;
- расположенная над ней промежуточная зона, в которой концентрации полезных ископаемых не представляют практического интереса;
- приповерхностную зону обитания, в пределах которой сосредоточено основное количество живого вещества по массе и по видовому составу.

Зона локализации чаще всего представляет собой обводненный комплекс ограниченной мощности, расположенный между водоупорными слоями. Биологические объекты в этой зоне представлены только микроорганизмами.

Промежуточная зона состоит из чередующихся горизонтов разного состава и мощности, среди которых возможны и водоносные. Мощность ее обычно – сотни метров. Как и в зоне локализации, биологические объекты отсутствуют.

Зона обитания включает материнские породы и почвы, породы зоны аэрации и грунтовых вод, грунтовые и поверхностные воды, часть атмосферы, растительный и животный мир.

Разрабатываемое месторождение полезных ископаемых объективно является источником загрязнения окружающей среды. Большую потенциальную угрозу для окружающей среды представляют месторождения металлов, обычно многоэлементные, содержащие набор компонентов, нормируемых в объектах среды обитания человека. Эти компоненты извлекаются не полностью и не все, а хранятся, отравляя живое вещество химическими агентами.

С начала отработки месторождения сосредоточенные в нем компоненты активизируются и становятся мобильными. Добываемый полезный компонент и сопутствующие ему вещества из зоны активации извлекаются на поверхность, поступают в зону обитания и оказывают на нее воздействие: рудничные воды, горная масса, газы, химические вещества.

С этого времени зона обитания превращается в зону воздействия. В зону воздействия входят воздух, поверхностные воды и

их донные осадки, грунтовые воды, растительный и животный мир, почвенный покров, горные породы зоны аэрации и грунтовых вод, приповерхностная часть атмосферы.

Промежуточная зона играет роль изоляции. При добыче полезных ископаемых зона изоляции пересекается горными выработками и способствует воздействию процессов добычи на зону обитания.

Извлеченная на поверхность горная масса складывается в отвалах, преобразующих ландшафт с живым веществом. Под воздействием атмосферных и космических факторов отвалы разрушаются, химически преобразуются, подвергаются водному и ветровому разносу. С 1 га отвалов КМА ежегодно сносится от 200 до 500 т горной массы.

Добытая руда транспортируется на перерабатывающее предприятие, где подвергается воздействию атмосферных и космических факторов. На перерабатывающем предприятии руда подвергается воздействию химических реагентов. Хвостохранилища становятся зонами инфильтрации жидкой минеральной фазы в подстилающие породы и грунтовые воды и источниками пыли.

Концепция природоохранности горных технологий

Длительное воздействие горного производства на окружающую среду региона КМА приобретает характер техногенной катастрофы, которая коррелирует с природной катастрофой, усиливая ее последствия с большим ущербом для природной среды. В качестве компенсации многочисленных нарушений земельного законодательства государству возвращается лишь часть ущерба, несоизмеримая с его действительной величиной.

Хвосты первичной переработки и некондиционные руды широко применяют в США, Канаде, Франции, Австралии, Бразилии и других странах после добычи урана, меди, цинка, золота выщелачиванием. Технологии с выщелачиванием решают одновременно две объективно существующие глобальные проблемы: упрочнение сырьевой базы и уменьшение объемов хранения отходов.

Перспективным направлением развития технологии является оптимизация времени процесса переработки по фактору максимального извлечения металлов при минимальных затратах энергии и реагентов, поскольку время выщелачивания с одно-

временной механо-химической активацией составляет первые секунды, в то время как продолжительность агитационного выщелачивания изменяется от 15 до 60 минут. Это возможно при решении подачи первичного раствора реагента в голову процесса и рециркуляции продукционного раствора в системе.

Концепция гуманизации технологий добычи металлов включает в себя компоненты:

- выдача на поверхность богатых руд для заводской переработки с минимальными потерями и разубоживанием за счет заполнения пустот твердеющими смесями;

- извлечение металлов из убогих руд подземным выщелачиванием после выемки 30-40 % их для создания компенсационного пространства с использованием кольматированных массивов для сохранности массива от разрушения;

- извлечение металлов из продуктов сортировки извлекаемых на поверхность руд кучным выщелачиванием;

- извлечение металлов из хвостов обогащения и металлургии комбинированными технологиями с механохимической активацией процессов выщелачивания;

- утилизация вторичных хвостов выщелачивания после классификации по крупности с использованием активированной мелкой фракции в качестве вяжущего, а крупной фракции в качестве инертного заполнителя.

Восстановление земельного потенциала, утраченного вследствие разработки месторождений, является действенным фактором обеспечения жизнедеятельности будущих поколений Земли. Критерием оценки воздействия технологии на окружающую среду является степень ее лояльности по отношению к природе. В соответствии с принципами природосбережения предусматривается мораторий на реализацию технологии, если она несовместима с концепцией природосбережения.

Научное обеспечение проблем диверсификации

Проблема бережного отношения к окружающей среде перешла в ранг государственных задач и стала обязательным компонентом межгосударственного общения. Стала осознанной необходимостью укрепления сырьевой базы и горнорудного производства при условии сохранения природных экосистем и укрепления системы жизнеобеспечения.

Переход к рыночной системе взаимоотношений в регионе совпал с начальным этапом постиндустриального развития при резком снижении роли добывающей отрасли и сохранении значения сельскохозяйственного производства. Особенностью региона является противоречивый симбиоз позитивных и стихийно возникающих катастрофических явлений природного и техногенного характера.

Эколого-технологическому перевооружению производства препятствует методика оценки технологий, в соответствии с которой в качестве компенсации экосистемам действующими предприятиями предлагается не полная величина ущерба, а только ее часть, несоизмеримая с подлинным ущербом окружающей среде.

Для территорий с высоким сырьевым потенциалом, обладающих разнообразными природными ресурсами и значительными мощностями по их переработке, а также хорошими научными и учебно-образовательными возможностями, решение проблем минерально-сырьевого комплекса как основы экономической безопасности, должно иметь приоритетное значение.

Одним из способов решения этой проблемы может стать рациональная организация деятельности ученых, ориентированных на решение прикладных проблем. Усилия ученых горно-геологического направления концентрируются на решении региональных проблем, что будет способствовать получению результатов высокого уровня.

Философия горнорудного производства — это система идей и взглядов на развитие горного дела, концепция управления природными ресурсами, рационального решения экологических проблем и охраны окружающей среды, направленная на стабилизацию и устойчивое развитие горных территорий.

Управление природными ресурсами территории включает рациональную организацию структуры производства, объединение потенциалов его предприятий, повышение эффективности их взаимодействия, применение прогрессивных технологий добычи и переработки руд, а также эффективные методы утилизации отходов.

К числу прогрессивных технологических методов освоения месторождений могут быть отнесены заполнение выработанных пространств в рудных блоках твердеющими смесями с использованием местных вяжущих компонентов и отходов производства,

применение способов выщелачивания обедненных руд, разработка методов снижения экологического ущерба окружающей среде.

Дополнительное производство металлов путем их выщелачивания из бедных руд по эффективности сопоставимо с вовлечением в эксплуатацию новых месторождений. Оно не только приносит прибыль и повышает полноту использования природных ресурсов, но и увеличивает срок деятельности предприятий как градообразующих объектов, сохраняющих трудовые ресурсы и снижающих фактор безработицы.

Проблемами, требующими постоянного внимания, изучение характера промышленного прессинга; мониторинг шахтных и производственных стоков, атмосферного воздуха, исследование их качественных характеристик; исследование гидрологии, физико-химических свойств минеральных вод и их природы; особенностей формирования, изучение и разработка способов предупреждения опасных естественных и техногенных процессов.

Для реализации этих и многих других задач развития горно-металлургического комплекса в Белгородском государственном национальном исследовательском университете развивается горное направление подготовки инженеров [9].

На кафедре инженерной геологии и гидрогеологии в БГУ базовой кафедре ВИОГЕМ выпускаются горные инженеры по специальности «Прикладная геология», открыта аспирантура по специальностям «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр», «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», «Геоинформатика», «Геоэкология», а также предоставлена возможность повышения квалификации специалистов- геологов.

В настоящее время в стенах БГУ создается горное направление подготовки специалистов широкого спектра: горняков, обогатителей, маркшейдеров, геофизиков и т.п.

Принципиальное отличие их от инженеров, заключается в ориентации на использование новейших достижений науки и производства в области природо- и ресурсосбережения.

Для устойчивого развития горных территорий с экономикой минерально-сырьевого профиля необходимы решения не только регионального, но и федерального уровня.

В новом веке индустриальный и технологический прессинг на природную среду стал настолько велик, что у человечества нет иного пути, кроме как изыскивать способы решения проблем техногенного воздействия на экологию. Сохранение биосферы в целом как зоны разумной, сознательной деятельности человечества – главная задача людей на Земле.

Выводы

1. Белгородская область играет важную роль в обеспечении национальной безопасности России, поэтому развитие ее промышленного потенциала является важным компонентом федеральной политики.

2. Перспективы развития КМА зависят от успеха реализации технологической диверсификации горного производства в форме конверсии технологий разработки месторождений на подземный способ.

3. Предпочтительные для освоения технологии разработки с закладкой пустот твердеющими смесями требует высоких эксплуатационных затрат на изготовление твердеющих закладочных смесей, что делает критическим звеном диверсификации проблеме обеспечения конверсионной технологии твердеющими смесями для заполнения технологических пустот.

4. Заслуживает внимания направление изготовление закладочных смесей с заменой дорогостоящего и дефицитного промышленных вяжущих и природных заполнителей техногенными компонентами после извлечения из них металлов.

5. Перспективным направлением извлечения металлов из хвостов обогащения является механохимическая активация их в аппаратах, где выщелачивающий раствор запрессовывается в образующиеся трещины, и извлечение металлов происходит одновременно с разрушением кристаллов.

6. Преобладающей в настоящее время практике прекращения эксплуатации нерентабельных для традиционной технологии разработки месторождений противопоставлен курс конверсии месторождений на новые технологии.

7. Длительное воздействие горного производства на окружающую среду региона КМА приобретает характер техногенной катастрофы, поэтому критерием оценки воздействия технологии на окружающую среду должна быть ее корректность по отношению к природе.

8. Решению проблем гуманизации горного производства способствует рациональная организация деятельности ученых горно-геологического направления, в том числе, подготовка горных инженеров в Белгородском государственном национальном исследовательском университете.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Российский статистический ежегодник*. М. Федеральная служба государственной статистики. 2011 г.

2. *Сергеев С В, Лябах А.И., Зайцев Д.А.* Опыт разработки богатых железных руд Яковлевского месторождения КМА // *Научные ведомости БелГУ*. 2011. № 3. Вып. 14. С. 200-208.

3. *Усков Е.А., Куцев Л.А.* Влияние техногенных отходов горнорудных предприятий Курской магнитной аномалии на экологическую обстановку в регионе // *ГИАБ*. 2007. № 8. С. 315-319.

4. *Петин А Н* Минерально-сырьевые ресурсы Курской Магнитной аномалии и экологические проблемы их промышленного освоения. Вестник РУДН. М., 2006. т.12.

5. *Сергеев С В., Зайцев Д А.* Перспективные методы контроля деформирования закладочного массива при слоевой системе разработки богатых железных руд // *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2011. Вып. 1. С.

6. *Ермолович Е.А, Шок И.А.* Техногенные отходы в составе закладочных композиционных материалов. М. Горный журнал. 2012. №9.

7. *Голик В.И.* Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированным методом активации. С-Петербург. Обогащение руд 2010. №5.

8. *Чернышов Н.М., Коробкина Т.П.* Особенности распределения и формы концентрирования платиноидов и золота в железистых кварцитах Лебединского месторождения. Вестник Воронежского университета. 2005. №1.

9. *Полухин О Н, Волков Ю И* Подготовка горных инженеров в Белгородском государственном национальном исследовательском университете. Горный журнал. 2012. №9. **ГИАБ**

КОНЦЕПЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ ХВОСТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Отмечено, что железные руды КМА содержат промышленные содержания металлов, редких и радиоактивных элементов. Показано, что уменьшение уровня радиационно-опасных факторов основывается на изоляции эманлирующих поверхностей минерального сырья, а наибольший эффект изоляции достигается при использовании технологий добычи руд с твердеющей закладкой. Указано, что развитие этого направления разработки может принести прибыль, сравнимую с базовым производством. Доказано, что традиционные технологии обогащения ограничены пределом извлечения, и рекомендовано использование механохимической технологии, где извлечение металлов в раствор происходит одновременно с разрушением кристаллов, а выщелачивающий раствор запрессовывается в образующиеся трещины от дезинтеграции частиц. Сформулированы задачи развития механохимической технологии и указаны защищенные патентами направления решения проблемы.

Ключевые слова: железные руды, металлы, радиоактивные элементы, радиационный фактор, эманлирующие поверхности, минеральное сырье, технология добычи, твердеющая закладка, прибыль, технология обогащения, извлечение металлов, выщелачивающий раствор, дезинтеграция, механохимия.

Характеристика комплексности железных руд

Недра КМА, кроме собственно железных руд, содержат промышленные содержания алюминия, золота, платины и платиноидов, меди, никеля, кобальта, хрома, редких и радиоактивных элементов.

Вскрышные и рудовмещающие породы, железные руды и продукты их переработки содержат высокие концентрации естественных радионуклидов и являются источниками аномально высоких ионизирующих излучений. В целом комплексные железорудные месторождения КМА являются радиационноопасными [1—3].

В горных породах Стойленской свиты фоновое содержание урана достигает 60 г/т, тория — 320 г/т. В горных породах Коробковской свиты высокие концентрации урана (до 60 г/т) увязаны с повышенным содержанием Со (до 1,3 %). Содержание урана в лейкократовых и аляскитовых гранитах атаманского комплекса в среднем составляет 17 г/т.

Среди горных пород платформенного чехла повышенными содержаниями урана обладают бат-келловейские глины и горизонты галечно-желваковых фосфоритов в кварцево-глауконитовых — песках мелового возраста. Фосфориты содержат урана в интервале 18—50 г/т.

Радиоактивные вещества обогащают железорудный концентрат и следуют по технологической цепочке вплоть до металлургического передела, где в процессе плавки отделяются от железа.

В водных хвостах обогащения концентрация урана достигает $579 \cdot 10^{-4}$ мг/л, радия — $43 \cdot 10^{-10}$ мг/л, что в 100 раз превышает естественный фон по урану и в 14 раз по радю. Из хвостохранилищ Лебединского и Стойленского ГОК в водную систему района ежегодно выносятся 4 т урана и 35 т тория.

Радиационные факторы выбора технологии разработки

Фактор радиационной опасности участвует в выборе параметров системы разработки, как ограничивающий.

Основные меры уменьшения уровня радиационно-опасных факторов основываются на применении технологий с изоляцией эманлирующих поверхностей минерального сырья.

Наибольший эффект изоляции достигается при использовании системы разработки горизонтальными нисходящими слоями с твердеющей закладкой, которая на величину в 3 раза уменьшает выделение радона в горные выработки. В этом случае подземные рабочие находятся в выработках с кровлей из твердеющей закладки и породными стенками, ионизирующее излучение и выделение радона происходит только из рудной почвы выработки.

Отработка мощных рудных тел в устойчивых вмещающих породах возможна вариантами камерных систем разработки с погашением выработанного пространства закладкой твердеющими смесями или с обрушением налегающих пород при гарантированной сохранности земной поверхности.

Варианты с обрушением пород не только выводят из оборота земли над месторождением, но и форсируют процессы радиации, образуя множество рабочих поверхностей радиоактивных руд, смешивающихся с породами при выпуске.

Поэтому при разработке месторождений, включающих в свой состав радиоактивные руды, преимущественно используют системы разработки с твердеющей закладкой, что позволяет

обеспечить сравнительно высокое извлечение полезных ископаемых из недр и одновременно повысить степень радиационной защиты подземного персонала [4].

Отечественный опыт разработки комплексных металлических месторождений основан на преимуществах технологий добычи с твердеющей закладкой, располагающих наибольшими возможностями по увеличению полноты извлечения руд из недр.

Для повышения полноты извлечения балансовых запасов полезных ископаемых при подземной разработке комплексных месторождений целесообразны слоевые системы разработки с твердеющей закладкой с использованием малогабаритной забойной техники и в особых случаях камерные системы разработки с последующим обрушением налегающих пород без угрозы для земной поверхности. Факторами, определяющими экономическую целесообразность камерных систем разработки, является величина разубоживания добываемой руды и стоимость погашения выработанного пространства с гарантией сохранности земной поверхности.

Слоевые системы разработки с твердеющей закладкой по сравнению с камерными системами, характеризуются существенно меньшим разубоживанием руды, зависящим от параметров оруденения и размеров очистных выработок и габаритов применяемой техники.

Приемлемые показатели разработки комплексных месторождений обеспечиваются при условии сохранении качества подаваемого на переработку рудного сырья.

Проблема хранения хвостов переработки при разработке месторождений металлических руд обостряется при добыче руд с повышенным разубоживанием, потому что из-за увеличения выхода хвостов увеличиваются затраты на обеспечение экологической безопасности при их эксплуатации и при последующем захоронении [5].

Меры уменьшения радиационной опасности

Несмотря на широкое распространение урана в земной коре, промышленные запасы его относительно невелики. Ограниченность запасов урана и существенный дефицит его в промышленности требуют рационального использования имеющихся минеральных ресурсов или целесообразное удовлетворение потребно-

стей промышленности в необходимом полезном ископаемом при наиболее эффективном варианте использования с комплексным системным подходом.

В России освоение новых урановых месторождений будет связано со значительными капитальными затратами, поэтому, в ближайшей перспективе наиболее приоритетным направлением укрепления национальной минерально-сырьевой базы атомной энергетики должно быть повышение извлечения разведанных минеральных ресурсов на действующих месторождениях типа КМА.

Для снижения вредного воздействия радиоактивного сырья на окружающую среду осуществляют технологические мероприятия, в том числе:

- минимизация площади излучающих поверхностей уменьшением доли технологий с магазинированием руды и с обрушением руды и пород;
- минимизация времени нахождения отбитой руды в очистном пространстве;
- приоритетное применение технологий с изолирующей твердеющей закладкой пустот;
- применение схемы нагнетательного проветривания с подачей исходящих струй к выдающим стволам по обособленным выработкам при отработке в направлении от выдающих стволов к стволам, подающим свежий воздух.

Дебит радона из металлических месторождений осуществляется поэтапно: высвобождение радона из кристаллической решетки минералов, диффузионное распространение в элементах горного массива и смешанный фильтрационно-диффузивный перенос по трещинам горных пород. Закладка выработанного пространства твердеющими смесями уменьшает фронт высвобождения радона.

Погашение технологических пустот закладкой твердеющими смесями является наиболее эффективным средством снижения вредного воздействия на экологию в районе горных разработок. За счет применения твердеющей закладки эманлирующие поверхности сокращаются вдвое, уменьшая дебит радона в 3 раза.

Радикальным способом уменьшения радиационной опасности является только утилизация урана, как и других элементов [6].

Практика утилизации сопутствующих рудных компонентов

Месторождения КМА содержит сопутствующие полезные ископаемые, имеющие промышленное значение, поэтому при добыче и последующей переработке руд должна учитываться возможность их извлечения.

При выборе технологии разработки, обогащения и переработки урансодержащих руд учитывают состав, качество и специфические свойства комплексных руд, а также горно-геологические и горнотехнические условия их добычи. Комплексные месторождения типа месторождений КМА содержит сопутствующие полезные ископаемые, которые могут иметь промышленное значение, поэтому при добыче и переработке учитывается их комплексность.

В развитых индустриальных странах мира уровень использования промышленных отходов достигает 70 %, тогда как в России и странах ближнего зарубежье он не превышает 10 %.

В США, например, из отходов добычи и переработки получают 20 % производимого в стране алюминия, 33 % железа, 50 % свинца и цинка, 44% меди и т.д. В штате Монтана (США) из отвалов рудника получают ежегодно 2 т золота и 4 т серебра при содержании в отвалах золота – 0,84 г/т и серебра – 2,8 г/т. В штате Мичиган (США) из хвостов обогащения, содержащих 0,3 % меди, извлекают 60 % меди.

В ЮАР из отвалов золотоизвлекательных фабрик при содержании золота – 0,53 г/т и урана – 40 г/т получают соответственно 3,5 т золота и 700 т урана в год при производительности 50000 т/сутки.

Подобная тенденция прослеживается в Канаде, Великобритании, Испании и других странах.

При утилизации промышленных отходов себестоимость товарной продукции оказывается в 10—15 раз меньше, чем при производстве металлов традиционными способами. Поэтому развитие этого направления может принести прибыль, сравнимую с базовым производством. Например, вторичная переработка 150 млн т отходов обогащения марганцевых руд Никопольского района и 500 млн т отходов обогащения железных руд Криворожского бассейна могут произвести товарной продукции на 5—7 млрд. долларов.

В Украинском Днепродзержинске на площади 2,5 млн м² расположено 7 хвостохранилищ с 40 млн т отходов переработки урана, содержащих уран, мышьяк, селен, торий, радий и т. п. В Украинском Донбассе за 200 лет добычи угля образовано 1 257 терриконов общим объемом 1 056 000 тыс. м³ на площади 5 500 га, в отходах гравитационного и флотационного обогащения угля содержание урана составляет 15-150 г/т, тория -20 г/т.

Радиоактивный компонент представлен в хранилищах отходов переработки всех металлургических центров России и мира, поэтому проблема утилизации отходов является глобальной.

Извлечение радионуклидов пытаются осуществить методом сверхкритической флюидной экстракции углекислым газом. В отличие от традиционных методов жидкостной экстракции при экстрагируемое вещество не содержит следов экстрагента. Основная часть комплексов урана извлекается при быстрой экстракции.

В рамках модернизации переработки хвостов обогащения применяют методы магнитного, гравитационного и электрохимического разделения и обогащения некондиционного сырья. Они позволяют выделить путем магнитной сепарации и дробной классификации в селективные товарные продукты железо, марганец, титан, серу и кремнезем – основные составляющие отходов, обеспечивая высокую эффективность разделения и обогащения оставшейся части отходов гравитационными методами.

Технология ИГЕМ РАН реализует процесс вскрытия руды в температурном интервале до 550 °С с последующим кислотным выщелачиванием металлов. Путем использования природных гидрохлоридов магния и их растворов в сопоставимом температурном режиме, т.е. создания механизма, противоположного процессу образования оруденения из руд, содержащих 0,56 г/т Pt и 0,3 г/т Pd, с термохимической обработкой при 500 °С и использованием природных бишофитов в качестве реагента в рабочий раствор извлечено около 80% Pt и Pd.

С помощью магнитной сепарации измельченного клинкера в СКГМИ концентрат извлекали железо, медь и основные редкие металлы. Магнитная сепарация эффективна после дробления клинкера до 1 мм. В этом случае получается магнитный концентрат (5,8 % С, 2,8 % Cu, 2,8 г/т Au, 588 г/т Ag) и хвосты (23,2 %

C, 0,28 % Cu, 0,33 г/т Au, 49 г/т Ag). Извлечение меди, золота, серебра, соответственно составили: 83,2 %, 80,6, 85,5%. Редкие металлы выделяются в магнитный концентрат при извлечения их от 75 до 92 % [7].

После отсадки получают тяжелый концентрат, в который извлекается от 94 до 97 % меди, благородных и редких металлов и хвосты.

Электромагнитная сепарация, флотация, гравитация и другие процессы находят применение для обогащения отходов и полупродуктов металлургических заводов. Например, флотацию медноникелиевого фанштейна применяют на многих отечественных и зарубежных заводах; пневматическое обогащение клинкера – на некоторых отечественных заводах; гравитационные методы обогащения – на большинстве гидрометаллургических заводов; флотацию кислых кеков от выщелачивания огарка – на цинковых заводах Рисдон (Австралия), Косака (Япония) и Трейл (Канада); отсадку раймовки – на заводе Фридрих-Август (ФРГ). Число примеров можно было бы значительно увеличить.

Традиционные технологии обогащения ограничены пределом извлечения, результатом которого являются хвосты, дальнейшее использование которых невозможно.

Теория и практика механохимического извлечения металлов

Известные методы обогащения руд не обеспечивают требуемого санитарными нормами извлечения металлов.

В течение двух последних столетий в мире используют три компонента технологии — температура и давление, механическое или химическое диспергирование веществ и катализ.

Со середины прошлого века формируется новый компонент технологии — механическая активация вещества, в том числе активация большой механической энергией [8]. При обработке в аппарате с максимальной скоростью удара 250 м/с. вещества приобретают новые технологические свойства.

Диспергация твёрдых тел (помол), использует механические силы для разрушения структуры твёрдых тел. Процессы в твёрдых веществах протекают тем быстрее и полнее, чем больше поверхность участвующего в процессе вещества.

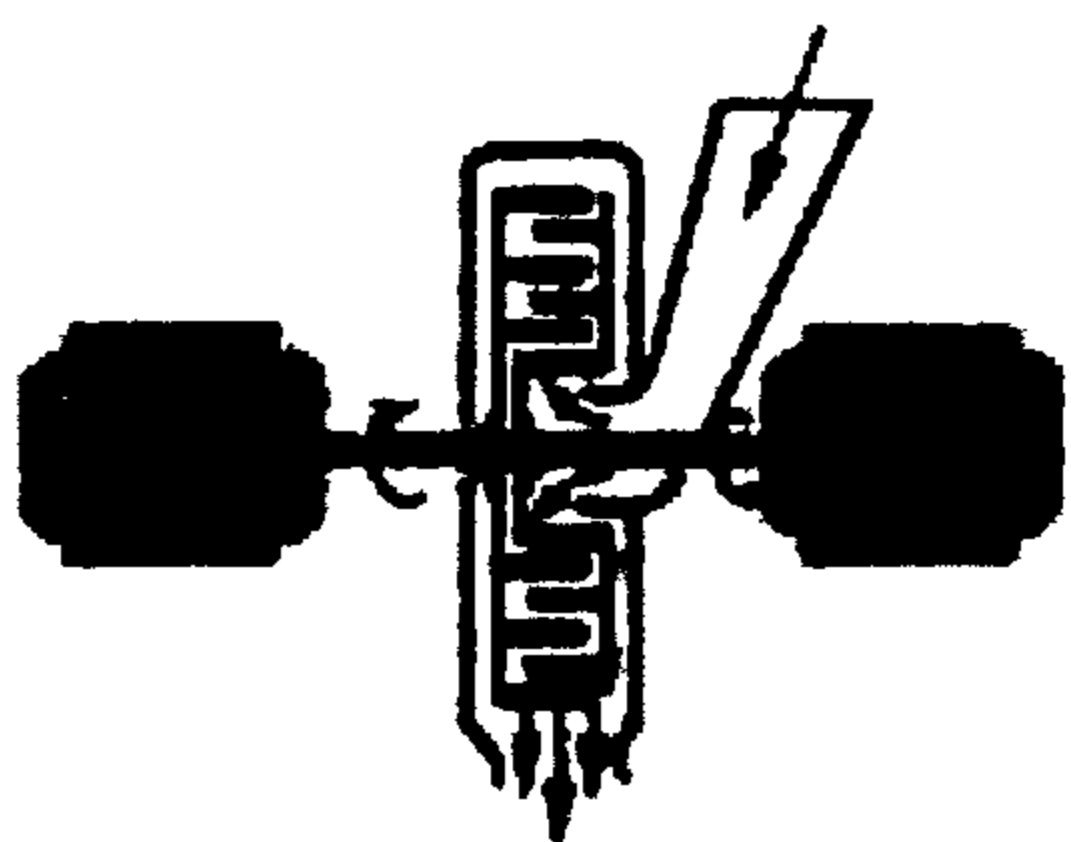


Рис. 1. Принципиальная схема дезинтегратора

Хесс К., Е. Штойнер и Х. Фромм в 1942 г. выдвинули понятие «механохимии» — разложение карбонатов, хлоридов и других веществ при обычных процессах помола, образование веществ, например, сернистых соединений и силикатов, увеличение растворимости веществ, ускорение химических реакций, усиление каталитических свойств, улучшение физико-технических свойств искусственных камней и

полимеров, понижение реактивности.

Дезинтегратор — машина для мелкого дробления (грубого измельчения) хрупких малоабразивных материалов состоит из двух вращающихся в противоположные стороны роторов (корзин), насаженных на отдельные соосные валы и заключённых в кожух (рис. 1).

На дисках роторов по концентрическим окружностям расположены пальцы (била) так, что каждый ряд одного ротора свободно входит между двумя рядами другого.

Материал подаётся в центральную часть ротора и, перемещаясь к периферии, подвергается многократным ударам пальцев, вращающихся со скоростью 500—1000 об / мин во встречных направлениях.

Механическая активация представляет собой изменение структуры материала посредством воздействия механических сил. За счёт энергии, использованной при механической обработке вещества, в нем накапливается энергия особого вида, причем основную роль играют перегрузки до четырехсот миллионов ускорений свободного падения. Система подвергается резким скачкообразным изменениям нагрузки, при этом каждая последующая ступень его должна быть интенсивнее предыдущей, а наибольшая кинетическая энергия достигается путём встречных ударов при больших скоростях.

Универсальные дезинтеграторы не только осуществляют механическую активацию веществ. При обработке поликристалли-

ческого сырья оно разрушается по поверхностям спайности кристаллов, вследствие чего минералы или другие материалы, содержащие фазы различной прочности, разрушаются, в том числе и по границе разделов фаз. Поэтому процессы сепарирования фаз из обработанных в дезинтеграторе многофазных веществ при помощи магнитных полей, флотации, сит или другими методами упрощаются, а выход целевого продукта увеличивается.

Дезинтеграторы обеспечивают максимальную скорость удара частиц обрабатываемого вещества до 450 м/с. В процессе интенсивной ударной обработки минерального сырья происходит накопление энергии деформации в частицах, которая реализуется в процессе измельчения материала и в последующих химических процессах. Влияние механической активации материала на его физико-химическую активность не остается постоянным после прекращения механической обработки, а убывает во времени по экспоненте.

Активация многокомпонентных хвостов обогащения Урупской фабрики, содержащих 50-60 % пирита, до 0,2 % цинка, до 0,5% меди и до 0,5 % других металлов позволила за 60 мин. перевести соляной кислотой в раствор цинка 100 г, свинца 30 г, меди 60 г, железа 116 г, что составило, соответственно 45, 26, 38 и 12% от исходного количества.

Промышленное использование дезинтегратора в горной практике впервые в мире осуществлено на месторождении «Шокпак» (Северный Казахстан) [9]. Промышленная установка ДУ-65 позволяла менять режим обработки материала, была укомплектована универсальными ступицами, дающими возможность менять роторы с 4- на 3-рядные, а также заменять двигатели мощностью 200 кВт на 250 кВт (рис. 2).

Дезинтегратор обеспечивал выход активного класса до 55 % и в комбинации с вибро-мельницей — 70 %, что позволяло активированному местному вяжущему конкурировать с цементом. Эквивалентом 1 кг цемента являлись 4 кг активированных хвостов. За счет эффекта активации обработка в дезинтеграторе обеспечивает приращение прочности на 25-30 % больше, чем обработка в мельнице.

Практика дезинтеграторной активации в смежных отраслях освоено ряд эффектов:

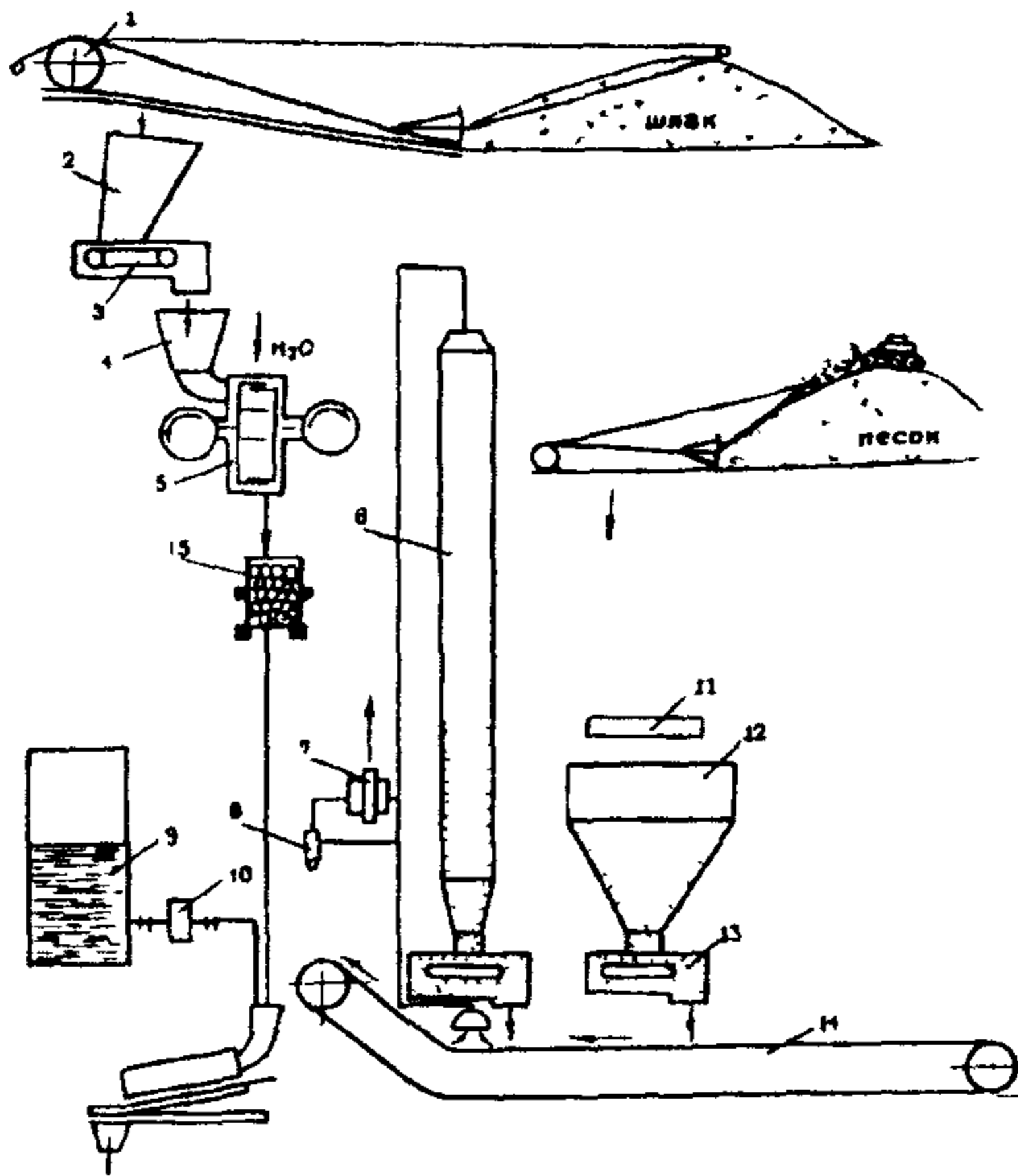


Рис. 2. Технологическая цепь приготовления твердеющих закладочных смесей с комплексом активаторов: 1 — скреперная лебедка ЛС-50, 2 — бункер-накопитель, 3 — дозатор СБ-110, 4 — питатель, 5 — дезинтегратор ДУ-65, 6 — силос СБ-2/2, 7 — вентилятор, 8 — циклон, 9 — блок воды, 10 — насос — 1,5 К-6, 11 — грохот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

- при помоле одного и того же клинкера в шаровой мельнице и в установке до одинаковой тонины в последнем случае получают портландцемент, прочность изделий из которого через 16 дней почти равна той, что лишь на 28 день достигается цементом, измельченным в шаровой мельнице;

- УДА-технология приготовления специальных тампонажных смесей для закрепления стенок глубоких буровых скважин при добыче нефти и газа позволяет повысить прочность цемента на растяжение до 5 раз по сравнению с ранее применяющимися смесями;

- активация в УДА-установке буровых растворов позволяет на 20-25 % повысить скорость бурения, сократить содержание твердой фазы в них в 2,0-2,5 раза, уменьшить износ бура;

- обработка железной руды в УДА-установке позволяет более чем на 100 °С снизить температуру восстановления металла и снизить время процесса более чем на 20 % по сравнению с рудой, измельченной до той же тонины в шаровой мельнице;

- обработка вольфрамовых концентратов позволяет на 10% увеличить степень извлечения металла и на 15-20 % скорость гидротермической обработки;

- обработка медных и железорудных концентратов совместно с вяжущим позволяет увеличить прочность окатышей на 25-35 %.

Комбинированную активацию металлосодержащего сырья в дезинтеграторе осуществляют в присутствии реагента, например, анолита электрохимического разложения водных растворов.

Особенность комбинированной активации заключается в том, что извлечение металлов в раствор происходит одновременно с разрушением кристаллов, а выщелачивающий раствор интенсивно запрессовывается в образующиеся трещины от дезинтеграции частиц. Выщелачивание золота из активированных хвостов обогащения в зависимости от режима процесса при $pH = 9-10$ позволяет за 16-18 часов перевести в поровое пространство 40-60 % золота.

Во всех случаях, где кроме активации происходит процесс образования новых веществ и протекают эндотермические реакции, энергия окупается в 3-30-кратном размере. Если учесть общий объём мировой продукции, этот новый источник энергии может оказаться в десятки раз мощнее, чем энергия расщепления атома.

Уровень знаний о возможностях дезинтеграторной технологии позволяет сделать прогноз о возможности производить продукты не менее чем на 30 % дешевле, и не менее чем с 30-процентной экономией энергии.

Совершенствование механохимического извлечения металлов

Можно резюмировать, что в ходе переработки добытых из недр минеральных масс образуются отходы, утилизация которых без ущерба природной среде возможна только после извлечения из них металлов до норм предельно допустимых минимальных концентраций. Традиционные обогатительные процессы не обеспечивают полного раскрытия минералов и не могут быть использованы с высокой эффективностью.

Технология обогащения, основанная на комбинировании методов магнитного, гравитационного и электрохимического разделения и обогащения, позволяет выделять из хвостов некоторые селективные товарные продукты, однако основным недостатком ее является технологическая сложность и низкая производительность, что препятствует широкому применению этой технологии.

Эффективность извлечения металлов из хвостов обогащения увеличивается при использовании технологий выщелачивания. Модернизация традиционных обогатительных процессов осуществляется путем привлечения операций гидрометаллургической и химической переработки, которые повышают эффективность обогащения. Основным недостатком таких технологий является чрезмерная продолжительность процесса, недостаточно высокая степень раскрытия зерен при дроблении и измельчении и снижение эффективности выщелачивания со временем, вызываемое постепенной коагуляцией пор и трещин в зернах обрабатываемого материала.

В последнее время получает известность технология извлечения металлов из хвостов обогащения, предусматривающая выщелачивание полезных компонентов из раскрытых зерен обрабатываемого сырья, при этом выщелачивание осуществляют в дезинтеграторе, загружая в него одновременно исходное сырье и выщелачивающий реагент.

Технической задачей обогащения является повышение эффективности извлечения металлов из хвостов обогащения за счет существенного ускорения выщелачивания, обусловленного дополнительным раскрытием зерен обрабатываемого материала, активацией поверхности структурных компонентов извлекаемых материалов и предотвращением коагуляции обрабатываемого массива.

Задачей развития механохимической технологии является повышение эффективности извлечения металлов за счет ускорения процесса с более полным раскрытием зерен обрабатываемого материала и активацией поверхности структурных компонентов.

Указанная задача решается по трем направлениям [10-12]:

- 1 На обрабатываемый в дезинтеграторе материал дополнительно воздействуют вибрацией в горизонтальной плоскости с его подбрасываем. При обработке в дезинтеграторе частицы вещества приобретают новые технологические свойства, рациональное использование которых обеспечивает технологический и экономический эффект. Однако этот эффект использовался лишь в последующих технологических операциях, что при значительном разрыве между последними существенно снижало эффективность процесса за счет падения активности поверхностей обработанных в дезинтеграторе частиц со временем.

Поскольку предлагаемый нами способ предусматривает одновременную загрузку хвостов обогащения и выщелачивающего реагента, возникает синергетический эффект, обусловленный воздействием реагента на выщелачиваемый материал непосредственно в момент раскрытия зерен, т.е. в момент максимальной механохимической активации.

Воздействие на материал вибрацией с подбрасыванием обеспечивает очистку поверхностей зерен от налипания продуктов дезинтеграции и коагуляции микротрещин, повышая степень контакта выщелачивающего реагента с обрабатываемым материалом и повышая эффективность процесса. Наиболее заметное повышение эффективности выщелачивания происходит в пределах частоты колебаний от 30 до 1500 Гц при амплитуде горизонтальных колебаний от 2 до 50 мм и амплитуде вертикальных подбрасываний до 30 мм.

Устройство для реализации предлагаемого способа представляет собой дезинтегратор, состоящий из электродвигателей, рабочей корзины и загрузочных приспособлений. Дезинтегратор установлен на виброплощадку, состоящую из вибровозбудителя, короба и виброизолирующих опор. При включении вибровозбудителя короб, установленный на упругую систему, совершает направленное возвратно-поступательное колебание. Хвосты, поступающие в дезинтегратор вместе с реагентом, дополнительно к основным процессам механохимической активации и выщелачивания, совершают еще и поступательное движение с подбрасыванием.

2. Перед подачей в дезинтегратор хвостов в смеси с серой предварительно обрабатывают раствором смеси серной и азотной кислот. При обработке массы, содержащей серу, смесью серной и азотной кислот образуются сильные окислители, которые переводят не окисленные упорные минералы металлов в легко вскрываемые формы. При дальнейшем выщелачивании эти разрушенные предварительной обработкой соединения металлов переходят в растворимые комплексы. Обработка руды смесью серной и азотной кислот уменьшает или исключает расход сульфата меди, поскольку роль катализатора окисления выполняет нитрозилсерная кислота.

На первой стадии хвосты обогащения в смеси с серой обрабатывают раствором смеси серной и азотной кислот, а на второй стадии производят механохимическое извлечение металлов из хвостов в дезинтеграторе.

Хвосты суспензионного обогащения в виде пульпы (Т:Ж=1:2) измельчают в смеси с элементарной серой (12 % по отношению к весу хвостов) до крупности 100 % — 0,01 мм. Пульпу обрабатывают смесью серной и азотной кислот (2:1) до доведения водородного показателя рН 1 с дальнейшим повышением район до значения 3 в течение 2 часов. Далее пульпу загружают в дезинтегратор, подают реагент и выщелачивают.

Преимущества предлагаемого решения: существенное ускорение процесса выщелачивания и повышение извлечения металлов из минеральных отходов упорных неокисленных руд.

Хвосты обогащения в качестве сырья используют в виде пульпы при массовом соотношении твердой фазы к жидкой, равном 1:2, при этом их измельчают в смеси с элементарной серой в количестве 12 % по отношению к массе хвостов до крупности 100 % — 0,01 мм, а обработку пульпы смесью серной и азотной кислот осуществляют при массовом соотношении последних 2:1 до доведения водородного показателя рН до значения 1 с дальнейшим повышением до значения 3 в течение 2 ч.

3. После активации хвостов в дезинтеграторе его укладывают в штабели и обрабатывают раствором серной кислоты с концентрацией 10-30 г/л, затем промывают водой и выщелачивают растворами сульфидотриоксосульфата натрия с концентрацией 10-20 г/л.

При использовании технологии повышается извлечение металлов, товарное содержание металлов в продуктивных растворах, снижается удельный расход реагентов на выщелачивание за счет неограниченной во времени продолжительности дополнительной стадии извлечения полезных компонентов.

Возникает синергетический эффект от совмещения извлечения в дезинтеграторе и выщелачивания в стационарной массе, поскольку механохимически активированная в дезинтеграторе минеральная масса продолжает интенсивно отдавать содержащиеся в ней металлы в течение определенного времени, увеличивая извлечение металлов по сравнению с обоими базовыми способами в отдельности.

Хвосты обогащения фракционируют до крупности — 200 меш, репульпируют до содержания твердой фазы в пульпе 30 % и подают в дезинтегратор, куда одновременно подают реагенты и осуществляют выщелачивание в дезинтеграторе по стандартной схеме. После выпуска из дезинтегратора хвосты укладывают в штабели, кучи или траншеи, обрабатывают раствором серной кислоты с концентрацией 10-30 г/л, промывают водой и выщелачивают растворами реагента. В качестве реагента используется раствор сульфидтриоксосульфата натрия с концентрацией 10-20 г/л.

Сравнение результатов опытов, выполнявшихся в одну стадию (выщелачивание в дезинтеграторе или выщелачивание в штабелях, кучах, траншеях) показывает, что при последовательном проведении этих стадий показатели извлечения превосходят арифметическую сумму этих показателей, получаемых в каждую отдельную стадию без комбинации с другой, что свидетельствует о синергетическом характере получаемого от предлагаемого изобретения результата.

Схема извлечения попутных металлов из хвостов обогащения комплексных руд дана на рис. 3.

Для решения этих и других вопросов диверсификации горного производства КМА необходимы собственные горные инженеры специальностей, в порядке их значимости в конкретных условиях: обогатители, разработчики подземным способом, геологи, геофизики, маркшейдеры т др.

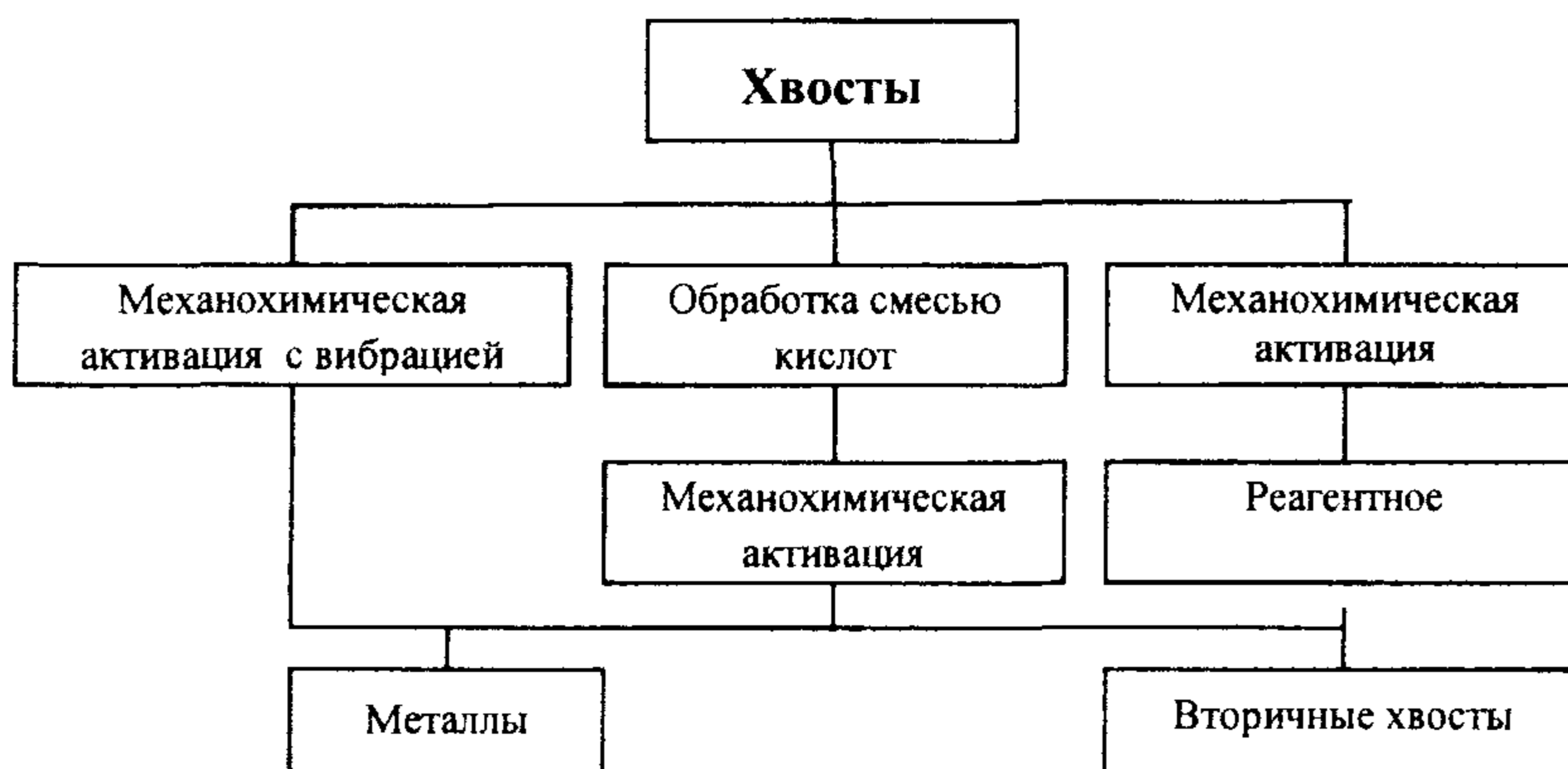


Рис. 3. Схема извлечения попутных металлов из хвостов обогащения методами механохимической активации

Выводы

1. Комплексные месторождения КМА содержат промышленные содержания алюминия, золота, платины и платиноидов, меди, никеля, кобальта, хрома, редких и радиоактивных элементов, добыча и переработка которых существенно влияет на экономические и экологические показатели региональной экономики.

2. Уровень радиационно-опасных факторов добычи руд снижается применением технологий с изоляцией эманлирующих поверхностей минерального сырья твердеющими смесями, что позволяет уменьшить площадь эманлирующих поверхностей вдвое и дебит радона в 3 раза.

3. При утилизации промышленных отходов себестоимость товарной продукции оказывается в 10—15 раз меньше, чем при основном производстве, поэтому реализация этой возможности может принести прибыль, сравнимую с базовым производством.

4. Традиционные технологии обогащения объективно ограничены пределом извлечения, поэтому их использование для радикальной утилизации хвостов неэффективно.

5. Перспективны технологии механохимической активации, при которых извлечение металлов в раствор происходит одновременно с разрушением кристаллов, а выщелачивающий раствор интенсивно запрессовывается в образующиеся трещины от дезинтеграции частиц.

6. Развитие механохимической технологии заключается в повышении эффективности извлечения металлов за счет ускорения процесса с более полным раскрытием зерен обрабатываемого материала и активацией поверхности структурных компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышов Н.М., Коробкина Т.П. Особенности распределения и формы концентрирования платиноидов и золота в железистых кварцитах Лебединского месторождения. Вестник Воронежского университета. 2005 №1

2. *Голилкин Н.И. Железные руды КМА / Н.И. Голилкин, Ю. Д. Кононов, В.П. Орлов и др.; под ред. В.П. Орлова, И.А. Шевырева, Н.А. Соколова. — М.: Геоинформмарк, 2001. — 616 с.*

3. *Додин Д.А. Металлогения платиноидов крупных регионов России / Д.А. Додин, Н.М. Чернышов, О.И. Чередникова. — М.: Геоинформмарк, 2001. — 302 с.*

4. *Голик В.И. Природоохранные технологии управления состоянием массива на геомеханической основе / В.И. Голик, В.И. Комащенко — М.: КДУ, 2010.*

5. *Голик В.И. Разработка месторождений полезных ископаемых. — Владикавказ: МАВР, 2006.*

6. *Голик В.И., Брюховецкий О.С., Габараев О.З. Технологии освоения месторождений урановых руд. — М.: МГИУ. 2007.*

7. *Голик В.И. Охрана окружающей среды утилизацией отходов горного производства / В.И. Голик, И.Д. Алборов, Т.Ф. Цгоев. — ИПО СОИГСИ, 2010.*

8. *Хинт И.А. УДА-технология: проблемы и перспективы. Таллин, 1981 г.*

9. *Голик В.И. Управление состоянием массива / В.И. Голик, Т.Т. Исмаилов. — М.: МГГУ, 2005. — 395 с.*

10. *Голик В.И., Комащенко В.И., Заалишвили В.Б. Способ извлечения металлов из хвостов обогащения. Патент № 2011105254/02(007422) от 25 мая 2012*

11. *Голик В.И., Комащенко В.И., Заалишвили В.Б. Способ извлечения металлов из хвостов обогащения. № 2011105255/02(007423) от 1 июня 2012.*

12. *Голик В.И., Комащенко В.И., Заалишвили В.Б. Способ извлечения металлов из хвостов обогащения. № 2011105256/02 (007424) от 1 июня 2012. **ПАТЕНТ***

ТЕХНОЛОГИЯМ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ — НАДЕЖНОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ И НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Показана роль Белгородской области в добыче железных руд. Произведена оценка перспектив добычи подземным способом с закладкой пустот твердеющими смесями. Рассмотрены проблемы обеспечения сырьем для изготовления твердеющих смесей. Сформулирована концепция утилизации хвостов некондиционное минеральное сырье при использовании эффективных технологий обеспечивает эколого-экономический эффект. Обосновано, что перспективным направлением извлечения металлов из хвостов является совмещенное химическое обогащение и активация минералов в аппаратах. Высказано мнение о возможности использования хвостов обогащения в составе смеси не только в качестве инертных заполнителей, но и вяжущих. Обозначена необходимость обеспечения инженерного и научного обеспечения природо- и ресурсосбережения путем сохранности земной поверхности и глубокой утилизации хвостов переработки руд.

Ключевые слова: железная руда, добыча, подземный способ, закладка пустот, твердеющие смеси, концепция, утилизация, хвосты, извлечение, металлы, обогащение, активация, вяжущие, инженеры, научное обеспечение, природная среда, ресурсы, земная поверхность.

Минеральная база области

Россия является одним из мировых лидеров по запасам, добыче и переработке железных руд. По разным оценкам, на ее территории сосредоточено от 15,6 % до 26 % мировых запасов этих руд. Страна существенно, не менее чем на треть, опережает по этому показателю Украину, занимающую второе место в мире. Однако по объему добычи железных руд Россия 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 6 %. Произошло это не из-за сокращения российской добычи – наоборот, в этот период она постоянно росла, а вследствие резкого увеличения доли Китая, объем производства которого вырос за это время почти в три раза.

Белгородская область играет важную роль в обеспечении национальной безопасности России, обеспечивая добычу железных руд из месторождений Курской магнитной аномалии (КМА). Курская магнитная аномалия простирается на длину 850 км при ширине до 200 км. Здесь разведано 18 месторождений железа с запасами 850 млрд т железистых кварцитов и 80 млрд т богатых железных руд, что составляет 60 % запасов железных руд России или 20 % мировых[1].

подавляющее большинство железной руды для черной металлургии России добывают предприятия Белгородской области, в том числе: Лебединский, Стойленский, Михайловский ГОКи, комбинат «КМАруда», Яковлевский рудник, Белгородская горнодобывающая компания. Открытым способом разрабатываются Лебединское и Стойленское месторождения железа и подземным — Коробковское. Подготавливаются к разработке Яковлевское и Гостищевское месторождения. Разведаны Салтыковское, Приоскольское и Чернянское месторождения.

Добыча и переработка железорудного сырья является основой экономики области региона, поэтому реализация программы освоения и рационального использования минерально-сырьевых ресурсов недр является важнейшим направлением его региональной политики.

Установление особенностей залегания железных руд и технологии их добычи и переработки в полной мере отвечают одному из важнейших направлений критических технологий Российской Федерации — «Оценка, комплексное освоение и глубокая переработка стратегически важного сырья» в общей проблеме Решения Совета безопасности Российской Федерации от 28.04.2001 г. «О сырьевой безопасности России в XXI веке».

В Белгородской области разведано более 200 месторождения полезных ископаемых. Важнейшим богатством являются железные руды. Наряду с добычей богатой железной руды осваиваются ресурсы железистых кварцитов.

Общий потенциал железистых кварцитов и богатых железных руд (71,8 млрд т.) определяют ведущее положение в мире минерально-сырьевой базы Центральной России.

В Старооскольском районе запасы богатых железных руд залегают на глубине до 150 м и разрабатываются открытым спосо-

бом. Открытым способом эксплуатируются Лебединское, Южно-Лебединское и Стойленское месторождения. На сравнительно небольшой глубине в Новооскольском железорудном районе локализуются запасы Погромецкого и Чернянского месторождений.

Но ближайшие перспективы добычи руд связаны с подземным способом разработки. Белгородское месторождение богатых железных руд формируется уже на глубинах 400—700 м.

На территории области находятся месторождения бокситов высокого качества, связанные с богатыми железными руд и железом — алюминиевыми рудами. Особенностью бокситового сырья является содержание промышленных концентраций редких химических элементов: галлия, ванадия, бора, лития, и др.

Наиболее крупное Висловское месторождение железных руд и бокситов расположено в юго-восточной части Белгородского железорудного района. Залежи богатых железных руд имеют протяженность до 15 км, ширину от 300 до 2000 м, мощность от 6 до 225 м. Бокситы образуют пластообразные залежи протяженностью от 1 — 7 км при ширине до 1000 м и мощности от малой до средней.

Освоение Висловского месторождения, как и других месторождений региона, подземным способом с применением традиционных технологических схем может быть малорентабельным.

Перспективы диверсификации горного производства

Большинство запасов месторождений региона или изначально локализовано на больших глубинах или не может извлекаться открытым способом по экономическим соображениям. Поэтому в ближайшей перспективе региону предстоит технологическая диверсификация: освоение технологий разработки месторождений подземным способом.

Центральный черноземный район, на территории которого находится КМА, характеризуется высокой плотностью населения и располагает основными запасами черноземными пахотными землями, которые являются основой продовольственной безопасности РФ. Поэтому технологии с разрушением земной поверхности в ближайшем будущем могут оказаться неприемлемыми.

Размеры и форма рудных тел, слагающих месторождения, их расположение в геомеханической системе и другие параметры позволяют прогнозировать в качестве основной технологии ка-

мерную систему разработки с закладкой пустот твердеющими смесями. Эта технология характеризуется хорошими показателями качества руд, полнотой использования недр и высокой производительностью добычи, но требует высоких эксплуатационных затрат на изготовление твердеющих закладочных смесей, что резко увеличивает стоимость товарной продукции.

Развитие горнодобывающей отрасли региона осуществляется в рамках Стратегии социально-экономического развития на период до 2025 г.

«Лебединский ГОК» с целью увеличения производства концентрата к 2016 г. до 23,7 млн т/г. модернизирует технологии обогащения руд. «Стойленский ГОК» увеличивает производственную мощность карьера с 32 до 42 млн т/г. «Комбинат КМА руда» занимается техническим перевооружением дробильно-обоганительной фабрики при увеличении производственной мощности до 7 млн т/г. «Металл-групп» на базе Яковлевского месторождения строит предприятие по добыче 4,5 млн т/г. богатых железных руд подземным способом.

Существенных мер по обеспечению предстоящей диверсификации производства сырьем для изготовления твердеющих смесей не предпринимается. Считается, что регион ими располагает в достаточном количестве.

Действительно, область располагает значительными запасами цементного сырья – мела, глин и суглинков, выветрелых сланцев и т.п. Мел и сланцы являются корректирующими добавками при производстве цемента. Перспективны Белгородское и Стойленское месторождения. В качестве карбонатной составляющей при производстве цемента пригоден мел Приоскольского месторождения. Запасы пригодных для горного производства песков учтены в пределах 15 месторождений.

Но добыча компонентов твердеющих смесей в объемах, сравнимых с объемами добычи руд, еще более усугубит экологическую ситуацию в регионе, которая и сейчас уже квалифицируется как катастрофическая [2].

Концепция освоения разведанных и обладающих развитой инфраструктурой месторождений реализуется решением технологических задач, в том числе:

- освоение новых технологии разработки месторождений, например, подземного и кучного выщелачивания металлов как аль-

тернативы традиционным технологиям с потерями металлов в выработанном пространстве и при пирометаллургическом переделе;

- освоение технологий глубокой переработки отходов производства текущих и лежалых для восстановления деградированной геологической среды.

В XXI веке важнейшими направлениями в области добычи сырья будут:

- создание новейших технологий геологической разведки и оценки минерально-сырьевого потенциала;

- конверсия от разрушающих геологическую среду технологий открытой и подземной добычи к природоохранным технологиям;

- освоение безотходных технологий переработки минерального сырья с сохранением геологической среды.

Преобладающей в настоящее время практике прекращения эксплуатации нерентабельных для традиционной технологии разработки месторождений альтернативой должен быть противопоставлен курс конверсии действующих месторождений на новые технологии с увеличением количества запасов в разы без больших затрат. Среди комплекса положительных эффектов конверсии одним из основных является возможность охраны геологической среды от полной деградации при техногенной агрессии.

Экологический аспект проблемы

Разработка полезных ископаемых с использованием взрывного способа отбойки руды радикально нарушает естественный процесс саморегуляции природной среды и угрожает здоровью населения региона. Так, содержание тяжелых металлов (кобальт, никель, хром, ванадий и др.) здесь нередко превышает природный фон в 100 раз. Минералы и продукты их переработки являются источниками аномально высоких ионизирующих излучений. Радиоактивные аэрозоли поступают в природную среду при буровзрывных работах, при дроблении руды на обогатительных фабриках, а также при пылении хвостохранилищ и складов. Радиоэкологическую проблему формирует радон и продукты его распада, которые создают до 70 % дозовой нагрузки от общего радиационного воздействия.

Белгородская область производит 40 % железных руд России, 5 % проката, 10 % цемента, 20 % шифера, 30 % асбоцемент-

ных труб, 13 % облицовочной керамики и другие промышленные и продовольственные товары. Всеми видами хозяйственной деятельности уже нарушено 90 % территории, при допустимом уровне — не более 70 %.

В хранилищах предприятий КМА при выходе отходов 1,5 т/т концентрата ежегодно образуется 60 млн т хвостов, а с учетом вскрышных пород — в 2-3 раза больше [3].

Выходом из сложившегося положения может быть использование для приготовления твердеющих смесей хвостов добычи, обогащения и металлургического передела металлических руд. Препятствием для широкого применения хвостов является наличие в них ценных не извлекаемых компонентов. В зонах локализации железных руд присутствуют промышленные содержания золота, платины и платиноидов, меди, никеля, кобальта, хрома, редких и радиоактивных элементов, которые не извлекаются, а остаются в хвостах переработки.

Так, в состав металлосодержащих минералов Лебединского месторождения входят, вес. %: кобальт (арсенопирит) до 0.6, никель (золото самородное) — 0.05, медь (борнит) — 60, мышьяк (арсенопирит) — 41, палладий (борнит) — 0.15, серебро (золото самородное) — 22.5, сурьма (блеклая руда) — 7, теллур (теллурид) — 30, платина (теллурид) — 1.3, свинец (галенит) — 88, бериллий (теллурид) — 1.

Железные руды включают металлосодержащие минералы: пирит, халькопирит, пирротин, галенит, сфалерит, арсенопирит, борнит, марказит. Помимо собственных минеральных фаз (золото самородное) значительные количества металлов концентрируются в сульфидах, сульфоарсенидах и других рудных минералах вследствие полигенного и полихронного процесса благороднометалльного рудогенеза в железистых кварцитах.

Примером благороднометалльного оруденения второго типа в рамках Лебединского железорудного месторождения могут служить золоторудные концентрации, расположенные в зоне тектонического контакта стойленской и коробковской свит. Повышенные содержания золота (до 3,75—32,3 г/т) отмечены в хлорит-кварцевых сланцах с прожилками кварца и сульфидов (пирит, халькопирит, пирротин, галенит, сфалерит, арсенопирит, борнит, марказит), а также в будинированных хлорит-, гранат-,

биотит-, амфиболсодержащих кварц-сульфидных жилах мощностью до 0,2 м [8].

Хвосты всех переделов являются техногенными месторождениями, поэтому использование их в хозяйственных целях без извлечения металлов недопустимо.

Концепция радикальной утилизации

Современная концепция утилизации хвостов исходит из того, что некондиционное минеральное сырье адекватно является неиспользуемым и опасным при хранении ресурсом, использование которого с использованием эффективных технологий обеспечивает комплексный эколого-экономический эффект [4].

В ряде случаев традиционная технология методами магнитного, гравитационного и электрохимического разделения и дробной классификации выделяет в селективные товарные продукты железо, марганец, титан, серу и кремнезем, обеспечивая разделение и обогащение оставшейся части отходов гравитационными методами (рис. 1). Но традиционные технологии обогащения всегда ограничены пределом извлечения, результатом которого являются вторичные хвосты, содержащие металлы.

Извлечь металлы, например, легко-вскрываемые золото, медь, уран позволяют технологии выщелачивания, однако одно только выщелачивание, несмотря на используемые методы интенсификации процесса, не обеспечивает положительных результатов из-за продолжительности и недостаточной управляемости процесса извлечения, а также невозможности осуществления при отрицательной температуре (рис. 2).

Модернизация обогатительных процессов осуществляется путем привлечения операций гидрометаллургической и химической переработки, которые повышают извлечение за счет комбинирования видов энергии [5].

Анализ перспектив развития горнодобывающей деятельности региона позволяет утверждать, что добыча железных руд будет характеризоваться увеличением объемов производства подземным способом, применением мощной техники, уменьшением содержания металлов и усложнением горно-геологических условий с увеличением глубины работ. Эти признаки предполагают и увеличение разубоживания руд с ростом объемов хвостов первичной переработки.

Комплексное воздействие горного производства на окружающую среду на всех этапах разработки месторождения будет усиливаться, особенно за счет химизации экосистем продуктами хранения хвостов.

Хранение недоступного традиционным технологиям минерального сырья грозит экологической катастрофой, поэтому радикальной мерой снижения опасности является только радикальная утилизация хвостов технологическими средствами.

Захоронение металлосодержащих хвостов, в том числе, путем биологической рекультивации без извлечения металлов, является паллиативом.

Перспективным направлением извлечения металлов из хвостов обогащения является совмещенное во времени и пространстве химическое обогащение и активация минералов в аппаратах,

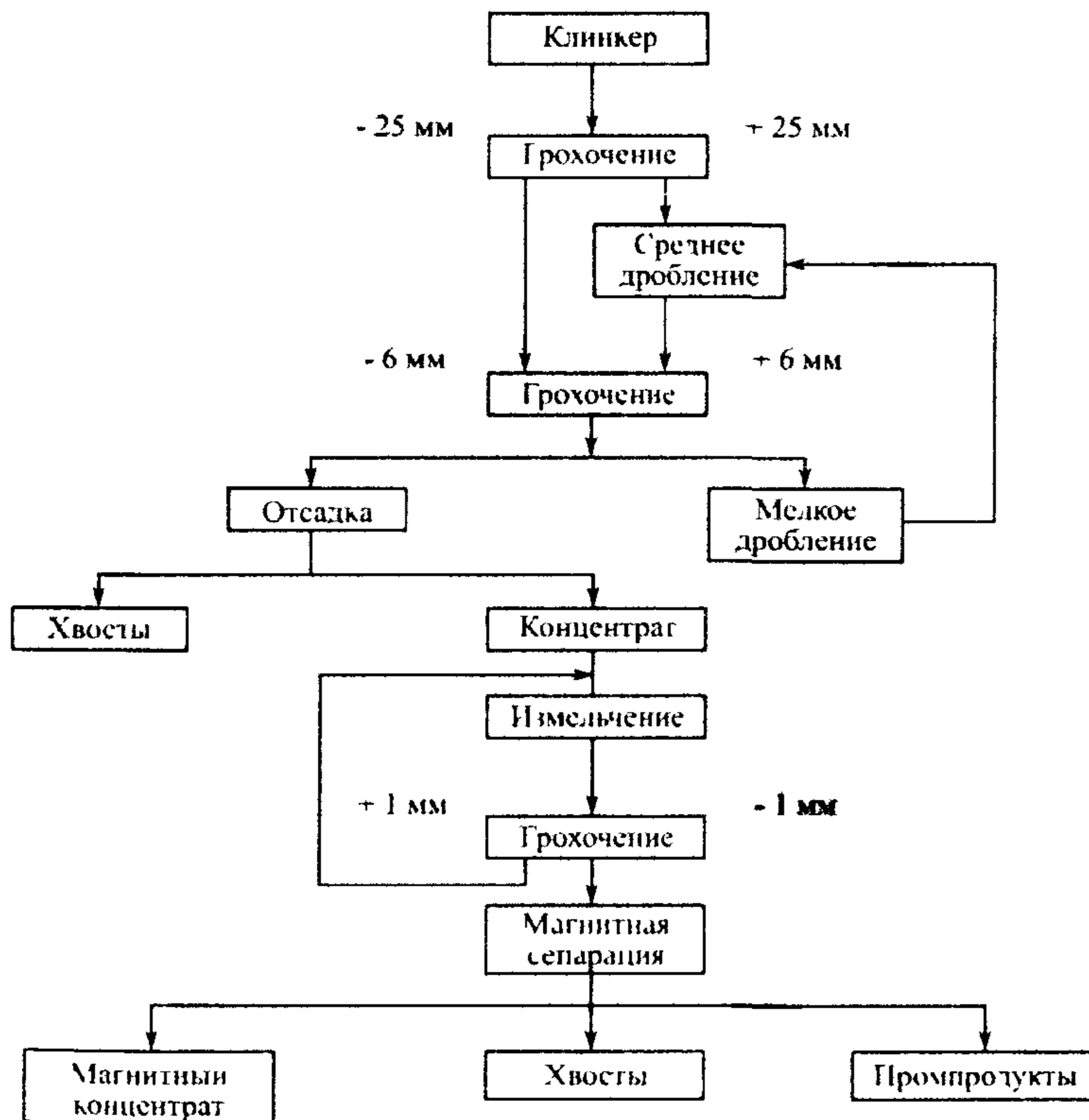


Рис. 1. Технологическая схема переработки хвостов металлургии

например, дезинтеграторе, когда извлечение металлов в раствор происходит одновременно с разрушением кристаллов, а выщелачивающий раствор запрессовывается в образующиеся трещины (рис. 3).

Подготовка хвостов к выщелачиванию в дезинтеграторе существенно увеличивает генеральный показатель эффективности – извлечение металлов в раствор, а совмещение процессов подготовки забалансовых руд и хвостов обогащения в дезинтеграторе и выщелачивания еще более увеличивает извлечение

В ряде пионерных работ эта положение уже получила практическое и теоретическое обоснование, однако дальнейшее развитие технологии нуждается в исследованиях, направленных на оптимизацию параметров переработки хвостов обогащения в конкретных условиях.

Извлечение металлов из хвостов обогащения руд с помощью механической активации в присутствии химических реагентов обеспечивает извлечение металлов в интервале от 50 до 80 % со снижением остаточного содержания до норм ПДК[6].

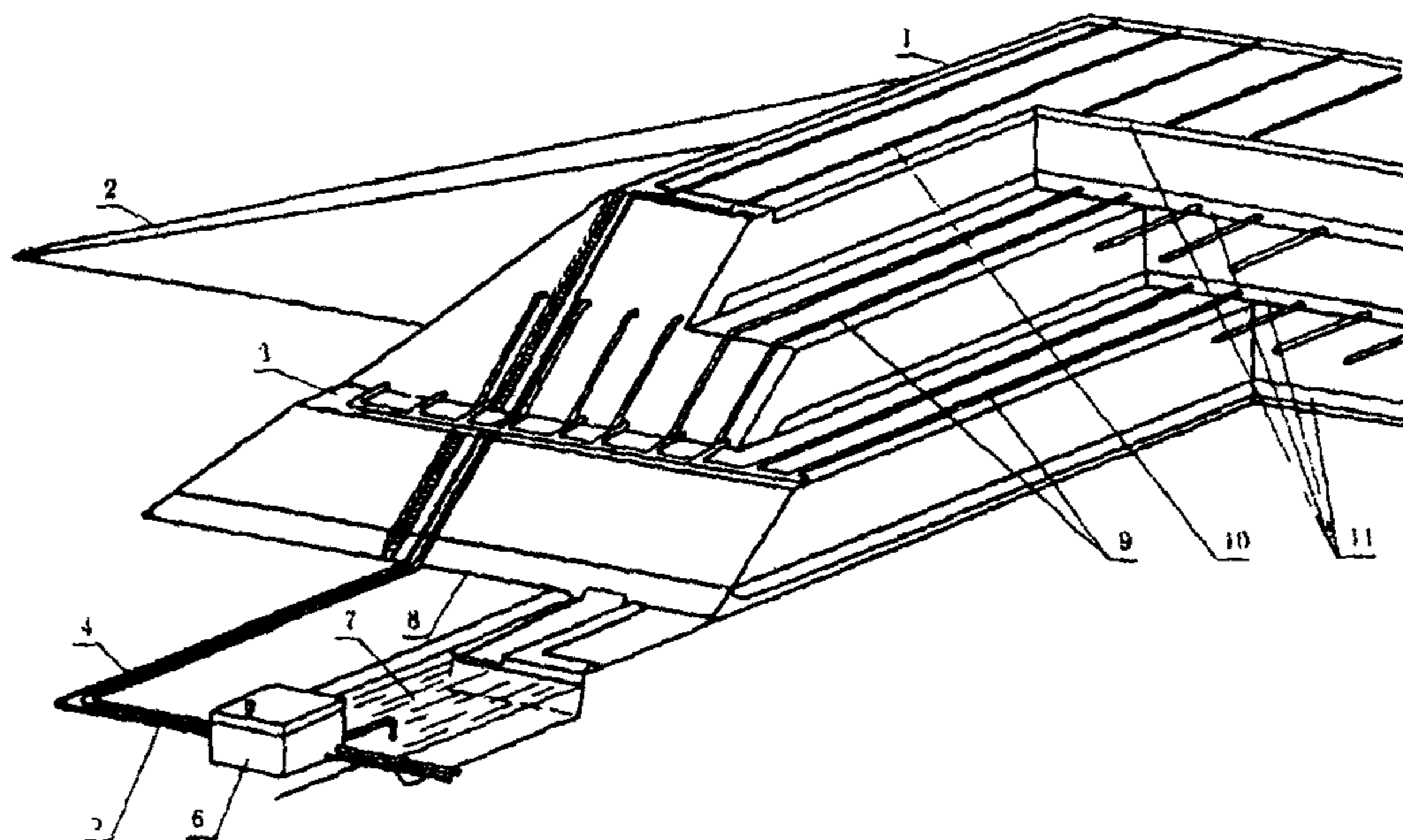


Рис. 2. Кучное выщелачивание металлов из хвостов обогащения: 1— штабель КВ, 2 – заезд на штабель, 3 – уступ штабеля, 4 – трубопровод рабочих растворов, 5 – трубопровод сжатого воздуха, 6 – насосная станция, 7 – зумпф продуваемых растворов, 8 – гидронепроницаемое основание, 9 – аэрационная система 10 – оросительная система, 11 – слой из мелкозернистого материала

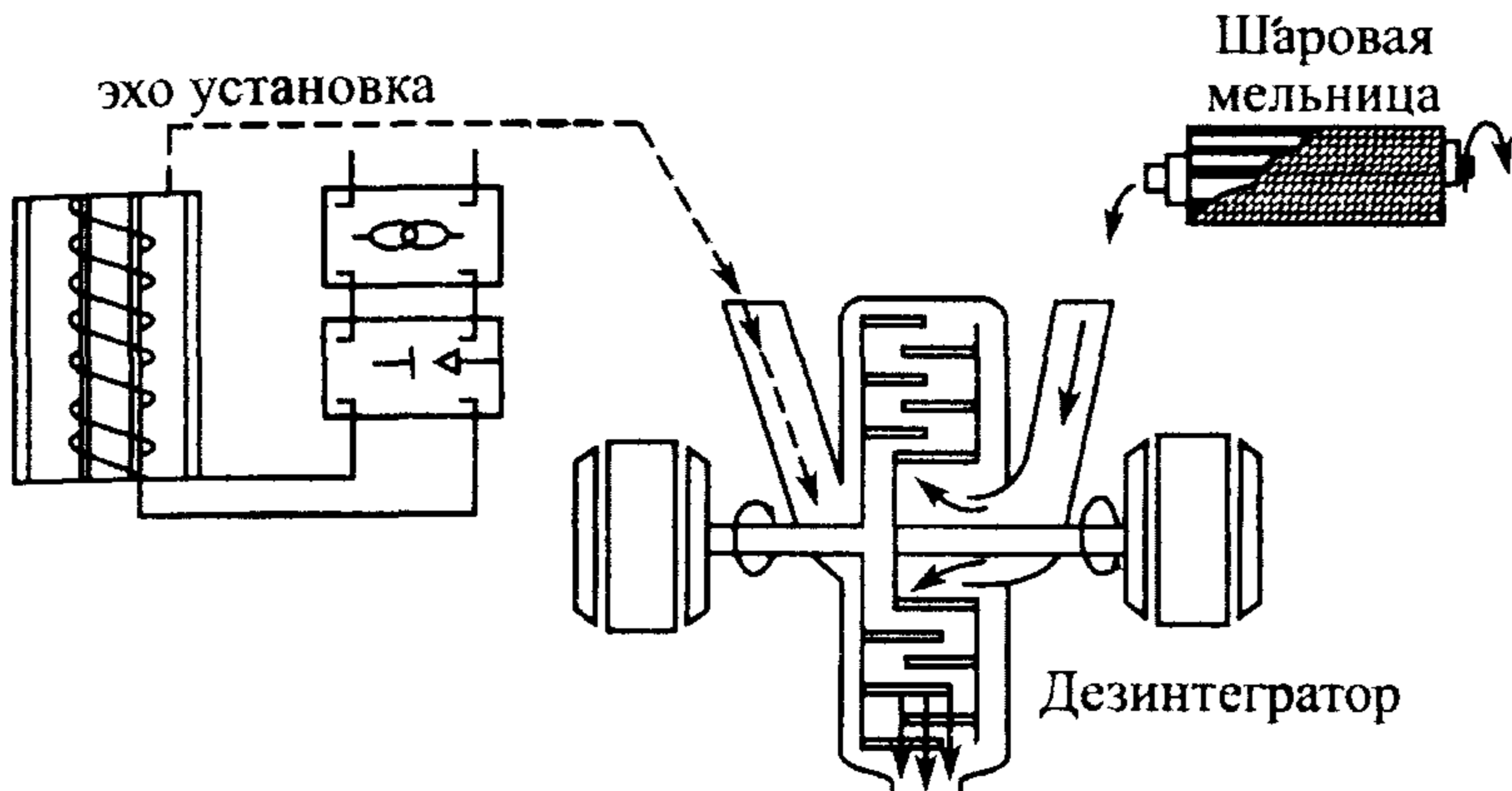


Рис. 3. Принципиальная схема комбинированной механохимической активации хвостов в дезинтеграторе

При освоении месторождений цветных металлов концепция ресурсосбережения может быть сформулирована в следующем виде:

- выдача на поверхность богатых руд с минимизацией потерь и разубоживания;
- извлечение металлов из бедных руд подземным выщелачиванием;
- извлечение металлов из металлосодержащих хвостов с механохимической активацией процессов выщелачивания (рис. 4).

В горной науке и практике получает развитие направление использования хвостов обогащения полезных ископаемых в составе смеси не только в качестве инертных заполнителей, но и вяжущих. При определенных условиях хвосты обогащения обладают требованиями, предъявляемым к компонентам твердеющих закладочных смесей, обеспечивая необходимую прочность смеси.

Классификация хвостов по крупности увеличивает прочность смеси не менее чем в 2 раза. Мелкие фракции обогащения размером до 0.074 мм, включающие карбонатные компоненты, используют в качестве вяжущих. Активация их в дезинтеграторе повышает прочность еще на величину до 40 %, что позволяет им конкурировать с цементом. После извлечения металлов из хвостов, из них может быть изготовлена твердеющая закладка для погашения пустот, образованных очистными работами. Нормативная прочность искусственных массивов определяется их положением в геомеханической системе.

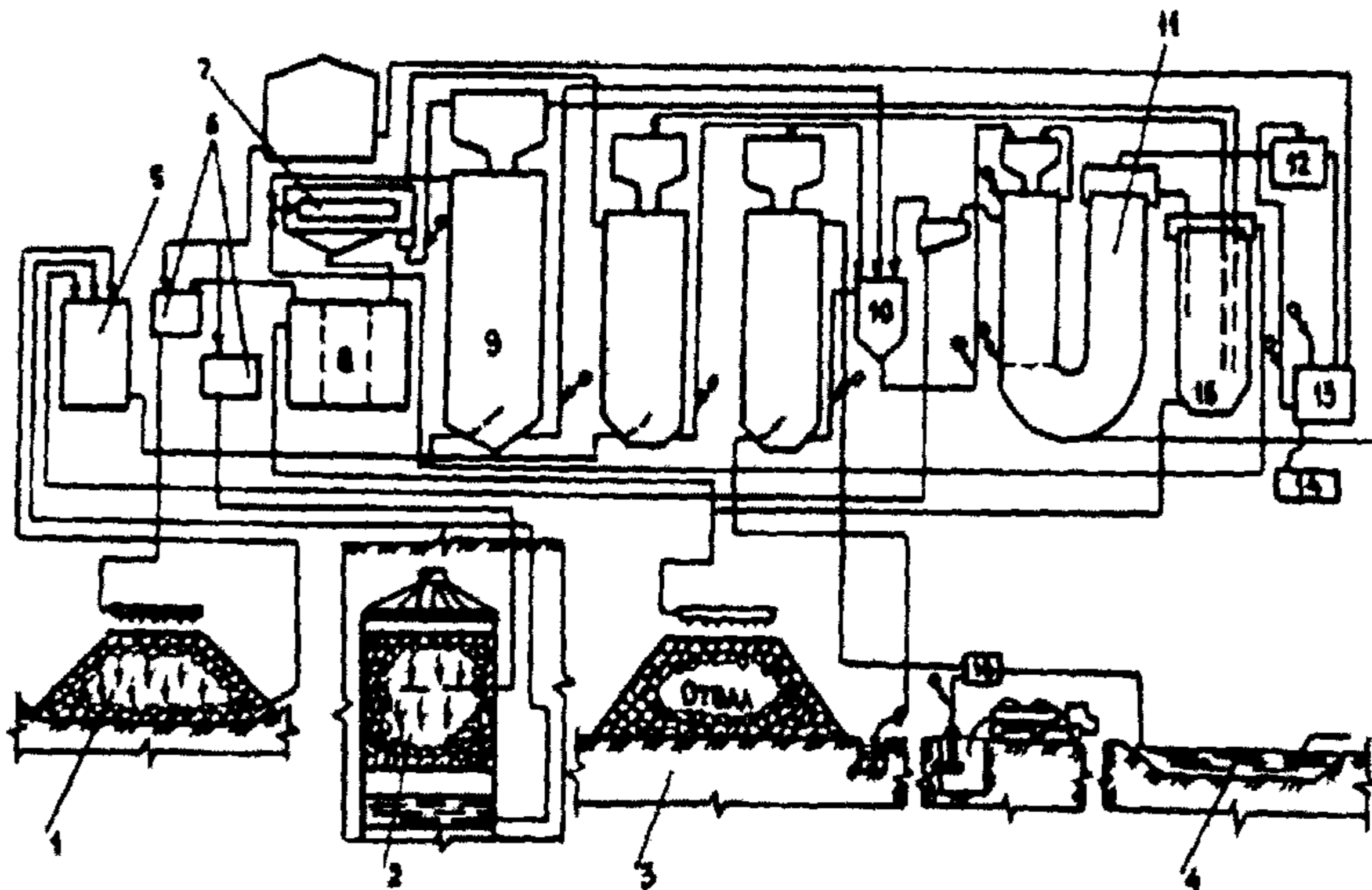


Рис. 4. Схема добычи металлов выщелачиванием: 1 - штабель КВ; 2 - блок ПВ; 3 - отвал; 4 - пруд; 5-5, 6, 7, 8 — емкости; 9, 10 – технологические аппараты; 11- сорбционно-десорбционная колонна; 12-15 - вспомогательное оборудование

Инженерное обеспечение горного производства

Неотвратимость предстоящей диверсификации производства на подземную разработку месторождений формирует проблему инженерного и научного обеспечения горных работ.

Для реализации задач развития горно-металлургического комплекса в части обеспечения его инженерными и исследовательскими кадрами в Белгородском государственном национальном исследовательском университете в 2005 г. начата подготовка горных инженеров [7].

Научно-образовательный центр прикладной геологии и геотехнологии включает в свой состав кафедру инженерной геологии и гидрогеологии в БГУ, а также базовую кафедру в ВИОГЕМ, которые осуществляют подготовку и выпуск горных инженеров по специальностям «Прикладная геология», обучение в аспирантуре по специальностям «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр», «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», «Геоинформатика», «Геоэкология», а также повышение квалификации специалистов-геологов.

Для решения задач диверсификации с учетом изложенных выше проблем в настоящее время в стенах БГУ создается горное направление подготовки специалистов: горняков, геологов, обогатителей, маркшейдеров, геофизиков и т.п.

Принципиальное отличие их от инженеров, выпускаемых других ВУЗах будет заключаться в максимальном учете последних достижений науки и производства в области природо- и ресурсосбережения: сохранность земной поверхности и глубокая утилизация хвостов переработки руд.

Выводы

1. Предстоящая диверсификация горного производства с переходом на подземную добычу руд ставит задачу обеспечения горных работ сырьем для изготовления твердеющих закладочных смесей.

2. Базой сырья для изготовления закладочных твердеющих смесей являются хвосты обогащения металлических руд после извлечения из них ценных и опасных при хранении металлических элементов.

3. Классифицированные и активированные в дезинтеграторе мелкие фракции хвостов могут применяться в качестве вяжущего компонента, а крупные фракции – в качестве инертных заполнителей.

4. Возможность извлечения металлов из хвостов обогащения до фонового содержания, а при необходимости до норм ПДК, обеспечивает механохимическая активация в установках типа дезинтегратор.

5. Инженерное и научное обеспечение реализации концепции природо- и ресурсосбережения нуждается в инженерах горного профиля, выпуск которых будет производиться в БелГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Петин А.Н* Минерально-сырьевые ресурсы Курской Магнитной аномалии и экологические проблемы их промышленного освоения. — Вестник РУДН. — М.: 2006. — Т. 12.

2. *Усков Е.А., Кущев Л.А.* Влияние техногенных отходов горнорудных предприятий Курской магнитной аномалии на экологическую обстановку в регионе // ГИАБ, 2007. — № 8.

3. *Ермолович Е.А., Шок И.А.* Техногенные отходы в составе закладочных композиционных материалов. — М.: Горный журнал, 2012. — № 9.

4. *Голик В.И., Петин А.Н., Комащенко В.И.* Экологизация геологической среды отработкой запасов некондиционных металлических руд. Научные ведомости Белгородского государственного университета. — Белгород, 2012. — № 12.

5. *Голик В.И.* Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированным методом активации. — С-Петербург: Обогащение руд, 2010. — № 5.

6. *Голик В.И., Комащенко В.И., Страданченко С.Г., Масленников С.А.* Механо-химико-активационная технология извлечения металлов из скальных руд. — ГИАБ, 2012. — № 9.

7. *Полухин О.Н., Волков Ю.И.* Подготовка горных инженеров в Белгородском государственном национальном исследовательском университете. — Горный журнал, 2012. — № 9.

8. *Чернышов Н.М., Коробкина Т.П.* Особенности распределения и формы концентрирования платиноидов и золота в железистых кварцитах Лебединского месторождения. — Вестник Воронежского университета, 2005. — № 1.

СОДЕРЖАНИЕ

Голик В.И., Полухин О.Н.

ПРОБЛЕМЫ ДИВЕРСИФИКАЦИИ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА
ПРЕДПРИЯТИЙ КМА3

Голик В.И., Полухин О.Н.

КОНЦЕПЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ ХВОСТОВ
ПЕРЕРАБОТКИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД.....32

Голик В.И., Полухин О.Н.

ТЕХНОЛОГИЯМ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ — НАДЕЖНОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ
И НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ40

CONTENT

Golik V.I., Poluhin O.N.

ISSUES OF DIVERSIFICATION OF MINING COMPANIES KMA.....3

Describe the role of the Belgorod region in Russia's national security. Highlighted the prospects of technological diversification of mining to underground mining of metal ores. The importance of the problem of providing conversion technology hardening mixtures to control the state of the array. Provides information about technology making filling mixtures using technological components. Recommended technology of extracting metals from the tailings by mechanical activation in the apparatus. The criterion of efficiency of technology offered its correctness with respect to nature. Provides information on the preparation of mining engineers to the area.

Key words: diversification, mining production, underground mining, mining, ore, technology, curing mix, technological components, metal extraction, tailings, mechanochemistry, activation, mining engineers.

Golik V.I., Poluhin O.N.

THE CONCEPT OF EXTRACTION OF METALS FROM IRON ORE TAILINGS.....32

Noted that iron ore KMA contain commercial content of metals, rare and radioactive elements. A decrease in the level of radiation hazard is based on the isolation emanating surfaces of minerals, and the greatest effect is achieved by using isolation technology ore mining with hardening tab. Stated that the development of this line of development can produce a return comparable to the baseline production. Proved that the traditional enrichment technology restricted to the checkout, and recommended the use of mechanochemical technology, where the extraction of metals in the solution takes place simultaneously with the destruction of the crystals and the leaching solution is pressed into a crack of the disintegration of the particles. The problems of mechanochemical technologies are protected by patents and ways of solving problems.

Keywords: iron ore, metals, radioactive elements, the radiation factor, emanating surface, minerals, mining technology, curing tab, profit, enrichment technology, the extraction of metals leaching solution, disintegration, mechanochemistry.

Golik V.I., Poluhin O.N.

UNDERGROUND MINING TECHNIQUES — SAFE ENGINEERING AND SCIENTIFIC SUPPORT.....40

The role of the Belgorod region in the extraction of iron ore. An assessment of the prospects of underground mining voids with bookmark hardening mixtures. The problems of providing raw materials for the manufacture of hard-

ening mixes. A concept of tailings disposal: Inadequate minerals using efficient technology provides environmental and economic benefits. Substantiated that the promising trend extraction of metals from tailings is combined chemical enrichment and activation of minerals in the apparatus. Expressed about the use of tailings in the mixture, not only as inert fillers, and binders. Highlighted the need to ensure the engineering and scientific support of nature and resource conservation through the earth's surface and deep disposal of tailings ore.

Keywords: iron ore, mining, underground mining, laying voids hardening mixture concept, waste, tailings, extraction, metals, refining, activation, binding, engineers, scientific support, the natural environment, resources, earth's surface.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Голик Владимир Иванович — доктор технических наук, профессор, Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания, v.i.golik@mail.ru,

Полухин Олег Николаевич — горный инженер, доктор политических наук, профессор, ректор Белгородского государственного национального исследовательского университета.