

Ю.Г. ВИЛКУЛ, А.А. АЗАРЯН, доктора техн. наук, проф.,
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»,
В.А. КОЛОСОВ, д-р техн. наук, Ассоциация «Укррудпром»

ПЕРЕРАБОТКА И КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Разработка и создание информационно-поисковой системы по переработке и комплексного использования минерального сырья техногенных месторождений является кардинальным шагом на пути к безотходной технологии.

В Кривбассе, по разным оценкам, в отвалах содержится до 13 млрд т вскрышных пород, а в хвостохранилищах - до 6 млрд т отходов обогащения бедных железных руд. В последние годы все активнее изучается возможность использования накопленной в отвалах и хвостохранилищах Криворожского бассейна минеральной массы. Очевидно, что отсутствие принятых на государственном уровне методов оценки техногенных месторождений тормозит введение их в эксплуатацию [1].

В настоящее время на территории Украины только твердых отходов накоплено около 25 млрд т. Эти отходы негативно влияют на природные ландшафты и экологические условия, занимая площадь около 150 тыс. га плодородных земель и ухудшая среду обитания человека. Техногенные месторождения приводят к исключению из хозяйственного оборота больших площадей земель, занятых отходами производства. Кроме того, происходит уничтожение или снижение качества земель из-за пылевых заносов с отвалов и хвостохранилищ [2].

Исходя из различий в способах формирования, транспортировки, складирования отходов, техногенные месторождения Кривбасса и аналогичных месторождений можно разделить на *два класса* [3]:

- сложенные техногенными залежами природных полезных ископаемых;
- сложенные залежами техногенных полезных ископаемых.

К *первым* относятся отвалы горнодобывающих предприятий бассейна, которые сложены извлеченными из недр, перемещенными и складированными вскрышными горными породами: осадочными метаморфическими, метасоматическими магматическими, гипергенными и другими по своей природе.

Ко *вторым* относятся, главным образом, отходы обогащения бедных железных руд (магнетитовых и в значительно меньшем количестве - гематитовых) - это т.н. "лежалые хвосты" обогатительных фабрик. Они представляют собой дробленый и измельченный материал исходной руды, в котором нарушена ее текстура и структура, а также во многом морфология и анатомия индивидов и агрегатов минералов. Вследствие извлечения из продуктов измельчения рудных минералов, минеральный и химический состав отходов обогащения (т.н. "текущих хвостов") существенно отличается от состава исходной руды. Складирование текущих хвостов в хвостохранилищах сопровождается гравитационной дифференциацией измельченного материала. Как следствие, минеральный и химический состав лежалых хвостов в конкретных участках хвостохранилищ заметно различаются. Практически меняется и природа полезного ископаемого: из метаморфогенного оно преобразуется в техногенное рассыпное [3].

Для Украины, Казахстана и России, производящих значительную долю минеральной продукции мира и обладающих мощным горнопромышленным потенциалом, проблема утилизации промышленных отходов и комплексное использование имеет первостепенное значение. Важным обстоятельством является то, что себестоимость товарной продукции из промышленных отходов, как правило ниже, чем из добываемых традиционными способами руд месторождений полезных ископаемых. Активное использование промышленных отходов минерального сырья позволит получать ежегодно прибыль в миллиарды долларов. Например, вторичная переработка 150 млн т отходов обогащения марганцевых руд Никопольского района и 800 млн т отходов обогащения железных руд Криворожского бассейна могут дать товарной продукции более чем на 10 млрд долл. [5].

Вовлечение в переработку техногенного сырья обеспечивает сокращение расходов на поиски новых и разведку эксплуатируемых месторождений, а также освобождение занимаемых им земель и их рекультивацию, ликвидацию источников загрязнения окружающей среды, улучшая тем самым экологическую обстановку вокруг действующих предприятий. Это относится и к тем техногенным месторождениям, освоение которых сопровождается производством стройматериалов. Таким образом, все изложенное указывает на актуальность и важность проблемы комплексного использования минерального сырья, переработки и полной утилизации отходов горнорудной, металлургической, топливно-энергетической и химической отраслей промышленности. На рис. 1 приведена классификация техногенных месторождений[1].



Рис. 1. Классификация техногенных месторождений

Вопросы комплексного использования минерального сырья и утилизации различных отходов с каждым годом привлекают все большее внимание науки и практики. Одним из важнейших разделов современной геоэкологии является повышение уровня безотходности технологических процессов, максимальное использование всех видов природного сырья при минимальном ущербе окружающей среде. В регионах, где добывающие отрасли являются ведущими, за многие десятилетия скопилось большое количество отходов угледобычи, углеобогащения, теплоэнергетики, железорудной промышленности, черной и цветной металлургии, ежегодно образуется большая масса отходов строительной индустрии, агропромышленного комплекса, в том числе крупных животноводческих комплексов, а также бытовых отходов. Под этими отходами занято тысячи гектаров земель. Отвалы горных пород, шламонакопители, бытовые свалки стали постоянными источниками загрязнения атмосферы, водоемов и подземных вод регионов. Решение проблемы комплексного использования минерального сырья и утилизации промышленных и бытовых отходов - это сокращение площадей нарушенных ландшафтов и обработанных земель, снижение загрязнения атмосферного воздуха, особенно взвешенными веществами, уменьшение поступления в водоемы техногенных вредных веществ, предотвращение загрязнения почв и подземных вод, получение дополнительной продукции из уже добытого из недр и в значительной мере обработанного сырья.

На рис. 2 приведена гистограмма использования вторичных ресурсов в различных странах.

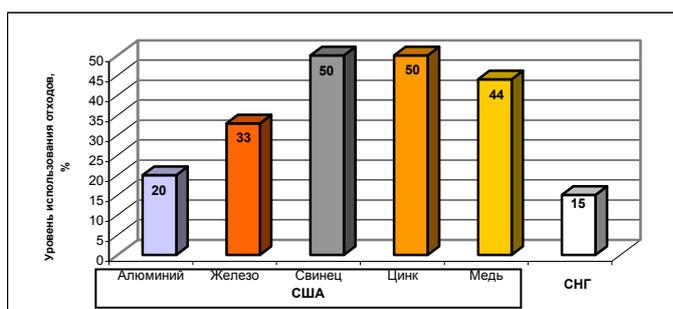


Рис. 2. Гистограмма использования вторичных ресурсов в различных странах

В США из промышленных отходов получают 20 % алюминия, 33 % железа, 50 % свинца и цинка, 44 % меди от общего объема производства этих металлов. Подобная тенденция использования вторичных ресурсов наблюдается в Канаде, Великобритании, ЮАР, Испании и других странах. Таким об-

разом, в развитых индустриальных странах мира уровень использования вторичных ресурсов достигает 70-80 %, тогда как в Украине и Ближнем зарубежье он не превышает 15 %.

В штате Монтана (США) из отвалов рудника Мандиски 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% Cu, достигнуто извлечение 60% меди, а в ЮАР из отвалов при содержании золота - 0,53 г/т и урана - 40 г/т получают 3,5 т золота и 696 т урана в год [5].

Проблема переработки техногенных месторождений Украины на сегодняшний день становится все более важной производственной и экологической задачей. Особенно это заметно в Донецко-Криворожском промышленном регионе. Так, по предварительным оценкам, на территории Криворожского железорудного бассейна закладировано более 20 млн т доменного шлака и более 800 млн т некондиционной окисленной руды, что составляет 12 летний объем добычи железорудного сырья открытой и подземной разработки. Создание эффективных технологий обогащения техногенных месторождений позволит решить не только производственную задачу по повышению общего объема товарного производства, но и существенно улучшить экологическую обстановку на территории промышленных регионов Украины за счет снижения показателей запыленности и высвобождения земельных ресурсов, занятых в настоящее время под отвалами.

Одним из вариантов технологии переработки техногенных месторождений являются ядернофизические методы сепарации минерального сырья, основанные не на магнитных, а на плотностных свойствах горных пород. Разработано и испытано несколько видов радиометрических сепараторов для предварительного сухого обогащения руд, а так же средств оперативного контроля и управления качеством минерального сырья на базе ядернофизических методов [4].

В Академии горных наук Украины проводились исследования по захоронению отходов в выработанные пространства шахт. С этой целью выполнен проект Криворожского рудоподготовительного комбината гематитовых руд (КРПК). Исследована и теоретически обоснована перспектива добычи и переработки, железных руд и разработки техногенных месторождений руд черных металлов Украины. Сформулированы задачи экологически безопасного ведения горных работ, при которых объемы выработанных пространств и объемы существующих хвостохранилищ и отвалов в регионе будут равняться объемам неиспользованных отходов добычи и обогащения руды [1].

Концепция на основе такого подхода была сформулирована в виде эколого-экономической модели развития Кривбасса, где за целевую функцию была принята минимизация экологических ущербов.

Для стран (Украина, Казахстан и Россия), производящих значительную долю всей минеральной продукции мира и обладающих мощным горнопромышленным потенциалом, проблема утилизации промышленных отходов имеет первостепенное значение. Важным обстоятельством является то, что себестоимость товарной продукции из промышленных отходов в среднем в 5-15 раз меньше, чем из добываемых традиционными способами руд месторождений полезных ископаемых. Активное использование промышленных отходов минерального сырья позволит получить ежегодно прибыль в миллиарды долларов.

Кроме экономических и экологических факторов, важным фактором является, также техногенное воздействие горных разработок на участок литосферы. Техногенное воздействие горных разработок вносит серьезные изменения в напряженно-деформированное состояние больших участков земной коры и может *послужить причиной геодинамических явлений с катастрофическими последствиями.*

Расчеты с использованием геомеханических моделей показали, что уровень вертикальных перемещений под техногенной нагрузкой сопоставим с перемещениями, полученными по результатам геодезических съемок в районах мощных землетрясений, связанных с заполнением крупных водохранилищ [6]. При этом следует учитывать две особенности нагрузки земной коры при техногенном воздействии от разработки полезных ископаемых. *Во-первых*, глубины карьеров в 2-2,5 раза превышают глубины искусственных водохранилищ, что с учетом плотности пород вызывает в 5-6 раз большие удельные нагрузки. *Во-вторых*, часть добытых пород складывается на прилегающих территориях, что вызывает противоположные по направленности нагрузки. Земная кора подвергается в этом случае моментному нагружению [6].

Геомеханическая модель техногенного воздействия на литосферу приведена на рис. 3

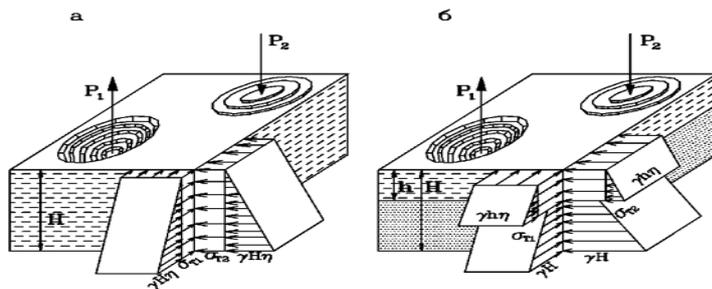


Рис. 3. Геомеханическая модель техногенного воздействия на литосферу: *а* - участок земной коры представлен нижним полупространством бесконечных размеров; *б* - участок земной коры представлен в виде оболочки конечной толщины и бесконечных размеров в плане

есть примеры, когда на ряде железорудных месторождений России в процессе обогащения в концентрат извлекалось железо, ванадий и титан (Златоустовское РУ, Качканарский ГОК). Многие железорудные месторождения на Урале несут в себе ванадий, медь, никель, бор, кобальт, серу, цинк, свинец. Железорудные залежи Тургайского прогиба в Казахстане содержат кобальт, медь, серу, свинец, цинк.

Были разработаны технологические схемы получения высококачественных железорудных концентратов с попутным извлечением сульфидов кобальта и меди из хвостов мокрой магнитной сепарации для ряда месторождений Урала.

При разнообразии залегания месторождений полезных ископаемых, комплексность использования минерального сырья рассматривалось в направлениях:

селективная добыча сортовых руд и нерудного сырья, обеспечивающих более производительную технологию металлургического передела или представляющих ценное сырье для других отраслей промышленности (красковые руды, некоторые сорта известняков, каолинов, огнеупорных глин, формирование песков для фарфоро-фаянсовой, стекольной, керамической и химической промышленности);

вовлечение в переработку некоторых видов низкосортного сырья, относящегося к забалансовым запасам (окисленные кварциты, карбонатные марганцевые руды, полуокисленные глины и др.);

использование отходов обогатительного и металлургического производства.

использование полезных ископаемых, залегающих совместно с основным видом сырья (железная руда) и возможности утилизации пород вскрыши в качестве сырья для производства строительных материалов;

использование запасов ценных компонентов - примесей, содержащихся в добываемом сырье (например, содержание в железных рудах титана, кобальта, ванадия и др.);

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых в отвалы направляются, кроме пустых пород, значительные объемы бедных некондиционных руд, затраты на добычу которых учтены в себестоимости вскрышных пород. При современном уровне научно-технического прогресса часть этих руд можно направить на переработку, что позволит более полно использовать запасы полезного ископаемого в недрах, повысить за счет этого эффективность и производственную мощность предприятия.

На рис. 4 приведен общий алгоритм выбора и применения комплексного использования минерального сырья подземной и открытой добычи.

Особую актуальность приобретают вопросы организации переработки огромного количества попутной продукции, представленной нерудным сырьем. Хвосты обогащения представлены в виде песков, которые также могут найти применение в дополнительном обогащении и строительной индустрии. Использование попутной продукции возможно путем создания на базе горнообогатительных комбинатов предприятий по выпуску материалов для строительства.

Определенную роль в формировании некомплексного подхода сыграли особенности развития горной промышленности страны. Уникальные по мощности месторождения и обилие разведанных запасов сырья на каком-то этапе породили уверенность в неисчерпаемости наших ресурсов. С такой стратегией в известной мере связано быстрое истощение месторождений, ухудшение сырья и, следовательно, увеличение объема горной массы, которую приходится перерабатывать.

Добыча и переработка руд черных металлов осуществляется в основном путем извлечения и использования основного компонента, представленного рудным материалом, попутные продукты переработки практически не используются и направляются в отвал. Не находит широкое применение комплексное использование месторождений руд, содержащих ценные полезные компоненты. Тем не менее,

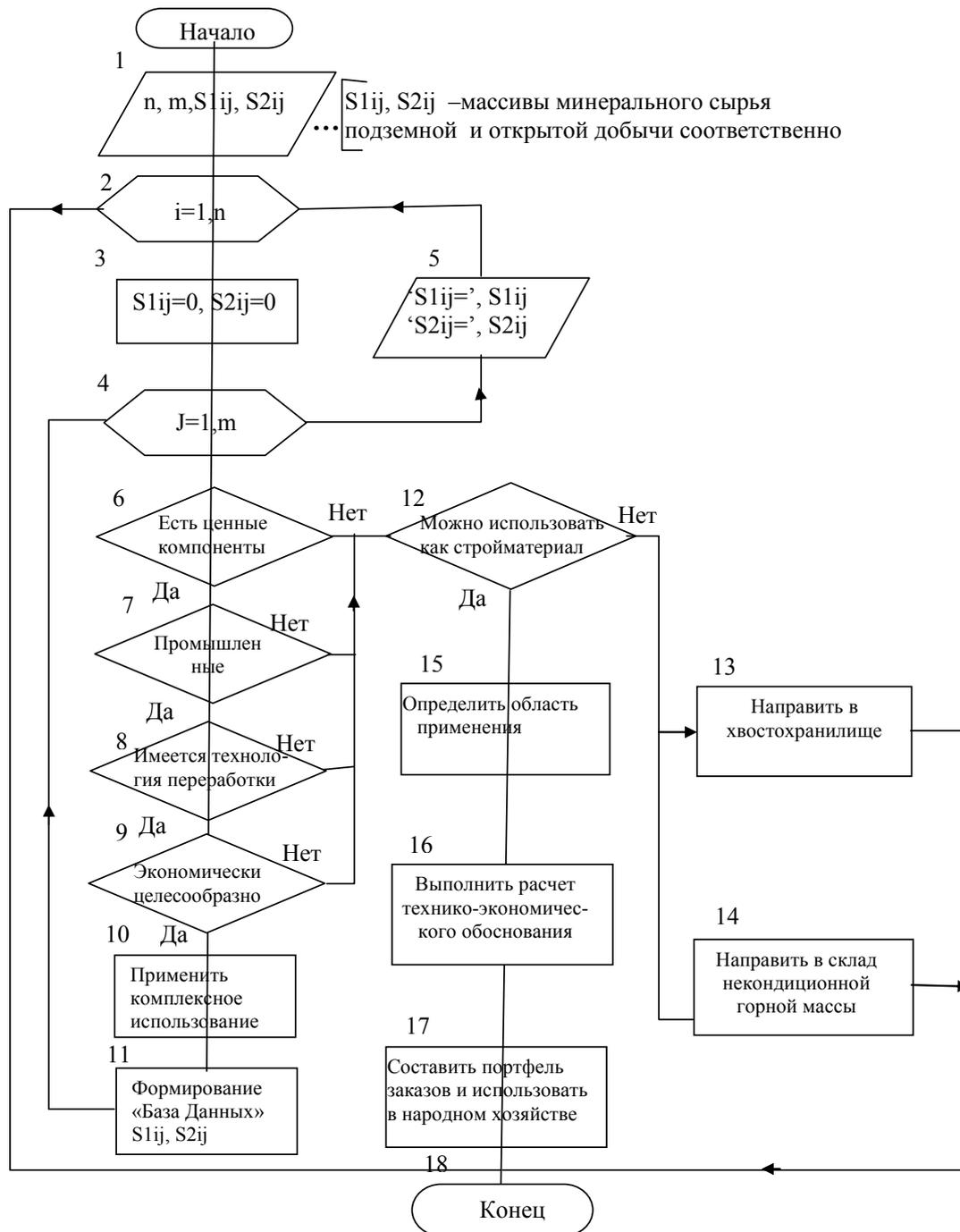


Рис. 4. Общий алгоритм выбора и переработки комплексного использования минерального сырья подземной и открытой добычи

На предприятиях Кривбасса с подземной добычей железорудного сырья в разные временные периоды осуществлялись шаги по комплексному использованию попутно добываемых полезных ископаемых и отходов производства. Например, проводились работы по добыче амфиболитов для производства камня, производился тальк для сурикового завода. Дробленая скальная фракция использовалась для подсыпки основания железнодорожных путей и автодорог, но до производства строительного щебня дело не дошло. Согласно ТУ для производства строительного щебня требовалась промывка дробленой фракции. А для организации процесса промывки, требовалось строительство промывочного комплекса при сомнительной в перспективе рентабельности реализации щебня. В результате, из-за низкой рентабельности производства и реализации попутной продукции, отмеченные направления комплексного использования минерального сырья не нашли широкого внедрения на шахтах по добыче железной руды.

Особое место в вопросе комплексного использования минерального сырья занимают горнообогатительные комбинаты Криворожского бассейна, разрабатывающие бедные магнетитовые руды, из которых легко извлекаются минералы железа в концентрат. А большие масштабы открытой разработки влекут за собой складирование в отвалы огромного количества вскрышных пород и хвостов обогащения в хвостохранилищах. Например, на ПАО «Центральный ГОК» ведется разработка ранее заскладированных хвостохранилищ с доизвлечением из них порядка 700 тыс. т концентрата в год. Практически на всех комбинатах Кривбасса введены в эксплуатацию установки по производству щебня из некондиционных кварцитов или отходов сухой магнитной сепарации, используемого для ремонта автомобильных дорог, железнодорожных путей в карьере и для реализации сторонним потребителям в качестве строительного материала. На некоторых комбинатах введены в эксплуатацию промышленные установки по производству песка из хвостов обогащения.

Однако, комплексное использование сырья развивалось только в части производства дополнительных видов продукции, потенциальные попутные компоненты складировались в отвалы и шламохранилища. Так, на ОАО «Южный ГОК» с начала эксплуатации комбината окисленных железистых кварцитов заскладировано в отвалы свыше 540 млн т с текущим выходом до 5,4 млн т в год. Кроме того с начала эксплуатации комбината в шламохранилище уложено свыше 360 млн м³ хвостов обогащения, с текущим складированием свыше 5 млн м³ в год.

На ГОКе ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» имеется опыт комплексного использования кварцитов и шламовых отходов обогащения. Фактическое же состояние комплексного использования попутно добываемых полезных ископаемых и отходов обогащения на ГОКе аналогично другим ГОКах. Только окисленных кварцитов заскладировано в отвалы 182 млн т, текущий выход которых составляет порядка 3 млн т в год. Кроме того железистые кварциты используются для строительства дамб и плотин шламохранилища, а также для производства щебня, при годовой производительности свыше 150 тыс. м³ в год для подсыпки дорог. Выход шламовых отходов обогащения сырой руды на ГОКе, которые сбрасываются в шламохранилища составляет свыше 6 млн м³ в год. С начала эксплуатации ГОКа в шламохранилищах этих отходов накопился свыше 310 млн м³. Для получения строительных песков в настоящее время шламы не используются.

На ПАО «Центральный ГОК» общее количество попутно добываемых и сбрасываемых в смешанные отвалы окисленных кварцитов составляет порядка 29 млн т. В качестве дорожно-строительного щебня используются отходы сухой магнитной сепарации в основном для подсыпки железнодорожного полотна в карьере, подсыпки автодорог, для горнотехнической рекультивации и разовой незначительной реализацией потребителям при годовой производительности на комбинате порядка 1,6 млн т. С начала эксплуатации комбината в шламохранилища уложено свыше 320 млн м³ хвостов обогащения с текущим выходом 5 млн м³ в год.

На ПАО «Северный ГОК» практически все попутно добываемые кварциты направляются в отвалы. Лишь незначительная их часть порядка 60 тыс. м³ в год используется для производства щебня и свыше 800 тыс. м³ в виде укладки в дамбу шламохранилища и горнотехнической рекультивации.

С начала эксплуатации комбината в шламохранилище уложено свыше 517 млн м³ хвостов обогащения с текущим выходом свыше 10 млн м³ в год. Из всего текущего выхода, крупнозернистая фракция шламов используется для намыва карт и дамбы шламохранилища.

На ПАО «Ингулецкий ГОК» большинство отвалов являются смешанными и заскладированные железистые кварциты разубожены. С начала эксплуатации комбината в шламохранилище уложено свыше 500 млн м³ хвостов обогащения с текущим выходом порядка 13 млн м³ в год. Из поступающих хвостов обогащения крупнозернистая фракция ежегодно намывается в тело плотины шламохранилища.

В целом фактическое состояние комплексного использования попутно добываемых полезных ископаемых и отходов обогащения на ГОКах Кривбасса неудовлетворительное. В основном оно сводится к производству дополнительных видов строительной продукции.

На ОАО «Полтавский ГОК» попутно добываемые сланцы и безрудные кварциты в количестве 45 млн т заскладированы в смешанные отвалы вместе с рыхлой вскрышей. В шламохранилище заскладировано 335 млн м³ отходов обогащения. Из этого объема 275 млн м³ находится в чаше шламохранилища, а 60 млн м³ использовано на строительство дамб. Текущий выход хво-

стов обогащения около 11 млн м³ в год, из которых около 4 млн м³ укладывается в чашу шламохранилища и свыше 7 млн м³ используется на строительство.

В настоящее время мы располагаем методами обогащения, которые 10-15 лет назад даже и не упоминались применительно к горному делу. Но сейчас важно не столько разрабатывать новые методы, сколько создавать на их основе схемы и производственные циклы, позволяющие добывать и перерабатывать сырье комплексно. Комбинированная схема переработки это не просто сумма процессов. Здесь требуется серьезное перераспределение функций между процессами и технологиями.

При освоении месторождения, которое отнесено по основному минералу к той или иной отрасли, отпускаемые средства предназначены для получения именно этого минерала - продукции отрасли. Остальное - отходы.

Но когда речь идет о таких регионах, как Криворожский бассейн, Кольский полуостров, Урал, Курская магнитная аномалия, реализация безотходной технологии в пределах одного горнообогатительного предприятия вряд ли возможна.

Рациональное природопользование требует не только утилизации большей части отходов, оно подразумевает организацию такого промышленного кругооборота веществ, который не нарушит экологического равновесия. Следовательно, надо получать продукцию для различных отраслей, приложить усилия многих ведомств. А, кроме того, рекультивировать земли, восстанавливать ландшафт, охранять природу. Все это обязательно, а на какое ведомство возложить такие заботы, увы, пока не ясно.

В странах СНГ две трети руды добывают открытым способом. На одной только КМА объемом вскрышных работ достигает 80 млн м³ в год. Пустую породу можно применять в производстве щебня, материалов для дорожных покрытий, в строительстве ирригационных сооружений - дамб и плотин. Породу необходимо использовать для засыпки отработанных карьеров, для восстановления природного ландшафта, который разрушается горной промышленностью. Это позволит решить одну из важнейших экологических проблем, но цена этого вопроса высока. Почему-то считается, что безотходные технологии носят чисто альтруистический характер и необходимы лишь будущим поколениям, а сегодня слишком накладны, экономически невыгодны, тяжелым грузом ложатся на себестоимость продукции. Это неверно. Безотходная технология всегда экономически или социально выгодна и при правильной организации горнопромышленных комплексов позволит даже снизить себестоимость продукции.

Очень важно учитывать оба аспекта проблемы - экономический и экологический. Следует отметить, что безотходная технология подразумевает комплексную переработку сырья и утилизацию отходов только в экономически целесообразных пределах. При этом экономическая целесообразность - необходимое условие безотходной технологии.

Выводы. Сформулированы задачи экологически безопасного ведения горных работ, при которых объемы выработанных пространств и объемы существующих хвостохранилищ и отвалов в регионе будут равняться объемам неиспользованных отходов добычи и обогащения руды.

Переработку минерального сырья необходимо оценивать комплексно - тогда не будет никаких противоречий и при этом связь экономики и экологии очевидна. Увеличение загрязненности воздуха кроме всего сокращает срок службы промышленного оборудования. В экономических расчетах властвует отраслевой принцип, а экономическая оценка требует не отраслевого, комплексного подхода.

В XXI веке спрос на железо продолжает оставаться высоким. Потребность стран в этом металле огромна: в 2010 г. в мире добыто 2300 млн т железной руды и выплавлено 1,4 млрд т стали. В Китае выплавлено в 2010 г. для своей промышленности и экспорта около 620 млн т стали, Японии более 100 млн т, в США 80 млн т, Западной Европе - 160 млн т, в России в 2011 г. около 48 млн т, Украине в 2011 - 35 млн т.

Фактическое состояние комплексного использования полезных ископаемых и отходов обогащения в Украине и, в частности, на ГОКах Кривбасса неудовлетворительное, поскольку комплексное использование в основном сводится к производству дополнительных видов строительной продукции.

Объем добычи полезных ископаемых возрастает, но при этом в готовую продукцию переходит все меньший процент от добытого объема. Вся остальная масса в виде отходов возвра-

щается в природную среду, загрязняя ее. Причина этого не столько в росте производства, сколько в отсутствии комплексной переработки минерального сырья и утилизации отходов.

Список литературы

1. Вилкул Ю.Г., Азарян А.А., Азарян В.А., Трачук А.А. / Проблемы переработки минерального сырья техногенных месторождений Украины // Горная промышленность, специальный выпуск.–М.: 2011. – С.13-15.
2. Техногенные месторождения // НПП «Гравикон» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Луганск, 2010. – Режим доступа: <http://www.gravicon.com.ua/ru/page43>.
3. Евтехов В.Д. Техногенные месторождения: от использования имеющихся – к созданию более совершенных// Геолого-минералогический вестник. – 2003 № 1. – С.19-25.
4. Азарян А.А., Колосов В.А., Ломовцев Л.А., Учитель А.Д. Качество минерального сырья. – Кривой Рог: Минерал, 2001. – 203 с.
5. Сайт <http://www.gravicon.com.ua/ru/page43>.
6. Сашурин А.Д., Панжин А.А. Масштабное техногенное воздействие горных разработок на участок литосферы //Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения): Доклады Международной конференции 6-10 июля 1998 г. -Екатеринбург. УрО РАН, 1998. -С.170-178.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.13

УДК 622.281

Ю.А. ПЕТРЕНКО, А.О. НОВИКОВ, доктора техн. наук проф.,
В.И. КАМЕНЕЦ, канд. техн. наук, доц., А.В. РЕЗНИК, инженер
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДАТЛИВОЙ ПОЛОСТИ В БОКУ ВЫРАБОТКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ РАБОТЫ АРОЧНОЙ КРЕПИ

Приведены результаты лабораторных исследований влияния податливых полостей создаваемых в боках выработки на ее устойчивость. Обоснованы параметры податливой полости.

Опыт эксплуатации выработок, закрепленных арочной крепью, показывает [1], что основным фактором, снижающим устойчивость выработок, является несовпадение направления податливости постоянной крепи с преобладающими смещениями породного контура, которое отмечено в 59 % обследованных выработок.

В выработках, пройденных по простиранию, преобладают смещения контура в направлении, нормальном к напластованию, т.е. большие деформации кровли в сечении наблюдаются со стороны падения пород, а почвы – со стороны восстания. Как в пластовых, так и в полевых штреках замок податливости срабатывает, как правило, со стороны падения пород, а со стороны восстания верхняя и стойка теряют соосность, податливость не реализуется, срез стойки развальцовывается и происходит разрыв хомутов.

В выработках, пройденных вкрест простирания, а также по падению и восстанию пород (всего в 12% обследованных) преобладающие смещения контура, отличные от направления податливости, проявляются при расположении продольной оси выработок в диапазоне углов 30-60° к линии простирания пород.

Отечественными и зарубежными разработчиками предложено большое количество конструкций крепей, призванных решить эти проблемы [2].

В ДонГТУ разработана крепь АПК-4, состоящая из четырех взаимозаменяемых элементов, соединенных тремя нижними и тремя верхними замками, которые перемещаются вместе со звеньями при работе крепи в режиме податливости. Конструкция хорошо зарекомендовала себя в условиях интенсивных боковых нагрузок. В Кузбассе применяется подковообразная арочная трехзвенная крепь из СВП, которая хорошо сопротивляется боковым смещениям и нагрузкам. В ИГД им. А.А. Скочинского разработана крепь МПК-А4, верхний сегмент которой состоит из двух отрезков профиля СВП, соединяемых между собой податливым кулачковым узлом. Наличие податливого узла в своде арки обеспечивает боковую податливость.

В Санкт-Петербургском горном институте создана конструкция складывающейся металлической крепи. Каждая рама крепи состоит из двух криволинейных стоек и верхняка, соединяемых с помощью специальных замков, выполняющих функции узлов податливости и шарниров. В зависимости от величины и направления прогнозируемых смещений элементы крепи могут