

УДК 622.235/.765.5:620.191

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРЯДНОИМПУЛЬСНЫХ МЕТОДОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

¹Коростовенко В.В., ²Суханова А.В.

¹*Институт цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: korostovenko@mail.ru;*

²*Институт космических и информационных технологий ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: headeynagai@gmail.com*

Рациональное освоение минеральных ресурсов месторождений является важнейшей задачей, решение которой сопровождается значительными потерями на стадии переработки при обогащении добытых руд. Освоение месторождений нарушает природное геохимическое равновесие районов добычи и переработки. Решение этих проблем является одной из главных причин поиска новых технологий, в том числе основанных на электрофизических методах. За последние десятилетия разрядноимпульсные технологии используются в разных областях науки и техники. Малоизученной областью практического применения разрядноимпульсной обработки является переработка минерального сырья, а практическое применение ее в этой области характеризуется весьма ограниченной информацией. В статье представлен анализ применения разрядноимпульсных технологий в разных областях науки и техники, включая переработку минерального сырья. Доказана бесперспективность механического переноса теории действия волн сжатия с процессов формообразования в процессы химической технологии. Выделена роль отраженных волн при разрядноимпульсном разрушении твердых сред, описан ряд эффектов, связанных как с источником импульсов, так и с технологическим объектом. Выполненный системный анализ позволил существенно уточнить область возможного применения разрядноимпульсных методов, обосновать стратегию исследований, выявить цели развития и функционирования системы. В результате обоснована область применения разрядноимпульсных методов в технологиях обогащения, как наиболее важного звена проблемы рационального освоения минеральных ресурсов месторождений. В обогащательных процессах целесообразно исследовать вопросы повышения полноты и комплексности извлечения полезных компонентов на основе комбинированных технологий с использованием разрядноимпульсных методов; в гидрометаллургических процессах разрядноимпульсные методы представляют научный и практический интерес в технологиях, позволяющих интенсифицировать извлечение труднообогатимых металлов, разделять дисперсные системы, оптимизировать качество очистки промышленных стоков и кондиционирование оборотных вод.

Ключевые слова: схема, рациональное освоение, минеральные ресурсы, системный анализ, область применения, разрядноимпульсные методы

SYSTEM ANALYSIS FOR ESTIMATING THE OPPORTUNITY OF APPLYING DISCHARGE-PULSE METHODS IN DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES

¹Korostovenko V.V., ²Sukhanova A.V.

¹*Institute of Non-Ferrous Metals and Materials, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: korostovenko@mail.ru;*

²*Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: headeynagai@gmail.com*

Rational familiarization of mineral deposits is the most important objective. The solution of it is accompanied by substantial losses at the stage of processing during enrichment of mined ore. The familiarization of mineral deposits violates the natural geochemical balance of the regions of mining and processing. The solution of these problems is one of the main reasons of searching for new technologies, including the one that based on electrophysical methods. Over the past few decades, discharge-impulse technologies are being used in various fields of science and technology. A poorly understood area of practical application of processing of discharge-impulse methods now is a processing of minerals, whereas a practical usage of it in this field is characterized by very limited information. The article shows the analysis of using discharge-impulse technologies in a various fields of science and technology, including the processing of minerals. Proves the futility of mechanical transfer of the theory of compression power from the processes of shaping into the processes of chemical technology. Highlights the role of reflected waves at discharge-impulse destruction of solid medium. Describes the range of effects connected to the source of pulses and to the technological object as well. Performed system analysis allowed considerably clarifying the field of possible application of discharge-impulse methods, substantiating the strategy of researches, identifying objectives of development and functioning of the system. As a result, was justified the field of application of discharge-impulse methods in enrichment technologies as the most important link of the problem of rational familiarization of mineral deposits. In enrichment processes, it is worthwhile to research the problems of increasing the completeness and comprehensiveness of extraction of usable components based on combined technologies using discharge-impulse methods. In hydrometallurgical processes, discharge-impulse methods represent both science and practical interest in technologies, which allow intensifying the extraction of hard metals, separating dispersal systems, optimizing the quality of clearing the industrial outlets and conditioning of recycled water.

Keywords: scheme, rational developing, mineral resources, system analysis, application area, discharge-pulse methods

Рациональное освоение минеральных ресурсов как коренных, так и техногенных месторождений является важнейшей зада-

чей, реализация которой характеризуется весьма значительными потерями полезных компонентов на стадии переработки добы-

того сырья при обогащении руд [1]. Как отмечается в работе [2], попытки улучшения технологических показателей обогащения труднообогатимых руд традиционными методами не позволяют в полной мере достичь желаемых результатов, что вызывает необходимость разработки методов, интенсифицирующих воздействие на твердую и жидкую фазы при рудоподготовке и обогащении.

В то же время освоение месторождений сопровождается большими объемами литохимических и гидрохимических загрязнений, нарушающих природное геохимическое равновесие районов добычи и переработки ресурсов недр. Авторы работы [3] подчеркивают одну из наиболее актуальных задач современности – создание технологий переработки минерального сырья, сочетающих ресурсосбережение и охрану окружающей среды. Разработка новых эффективных процессов и интенсификация действующих технологий комплексной и глубокой переработки минерального сырья должны основываться на последних достижениях фундаментальных наук – физики, химии, физики твердого тела [4].

Таким образом, объективно существуют две основные проблемы освоения минеральных ресурсов: необходимость интенсификации горно-обогатительных процессов и снижение вредного воздействия на природное геохимическое равновесие. К числу новых технологий, основанных на электрофизических методах, относятся и разрядно-импульсные, реализующие специфические эффекты высоковольтного разряда.

Материалы и методы исследования

За последние десятилетия разрядно-импульсные технологии нашли применение в самых разных областях науки и техники; металлообработке (прессовании, формовке и др.), сварке, изготовлении композитов, фармакологии и практической медицине, сельском хозяйстве, бурении и приготовлении тампонажных смесей, повышении нефтеотдачи скважин, сейсморазведке, обеззараживании жидкостей, разрушении минеральных сред, интенсификации выщелачивания, порошковой металлургии и др. [5].

Анализ первоисточников показывает, что запатентованы разрядно-импульсные способы и устройства в более чем 150 областях науки и техники, создавая ложное впечатление о безграничных технологических возможностях разрядно-импульсной

обработки. В то же время малоизученной областью практического применения высокоэнергетических методов, в том числе разрядно-импульсной обработки, является переработка минерального сырья.

При переработке минерального сырья известен ряд технологий, основанных на разрядно-импульсной обработке. Прежде всего, следует указать на применение такой обработки при крупном дроблении и измельчении. В подавляющем большинстве отечественных конструкций импульсный разряд осуществляется в жидкости, в которой находится обрабатываемый твердый материал. Принципиальное значение такой особенности заключается в том, что серийно выпускаемые генераторы импульсных токов для металлообработки (т.е. наиболее мощные) могут успешно применяться и при переработке минерального сырья после соответствующей реконструкции технологического блока установки [6].

Достаточно широкое практическое использование энергии электрического разряда в жидкости в машиностроении и металлообработке способствовало разработке широкого типоряда специальных высоковольтных устройств, основанных на реализации главным образом ударного эффекта, создаваемого в процессе формирования волны сжатия. Однако, как отмечено в работе [7], необходим новый подход, исключающий энергозатраты сверх того, что физически необходимо и достаточно для эффективного раскрытия минералов. Наконец, при отсутствии комплексного и системного подхода к проблеме рационального использования полезных ископаемых недостаточно учитывается экологический фактор, либо такой учет полностью отсутствует [8].

Многочисленные попытки реализации разрядно-импульсных технологий в других отраслях науки и техники не нашли развития из-за механического переноса теории действия волн сжатия с процессов формообразования в процессы химической технологии, что предопределяет их бесперспективность. Последнее усугубляется неизученностью совокупности процессов, имеющих место при использовании разрядно-импульсных методов. Технологии разрядно-импульсного разрушения твердых сред также основаны на использовании механизма действия прямой ударной волны без учета действия отраженных волн, что предопределило ориентирование на весьма высокие на-

пряжения (50–70 кВ и выше). При таких величинах электрического напряжения нивелируется значение других процессов, имеющих место при разрядноимпульсных методах; практическую реализацию получает только операция фрагментации минеральных ассоциаций. Однако совершенно ясно, что разрядноимпульсные методы являются одним из основных инструментов эффективного воздействия на технологические свойства перерабатываемого сырья в составе комбинированных технологий, которые основаны на сочетании гравитационных, флотационных и гидрометаллургических процессов [9], в каждом из которых возможно эффективное применение электрофизических методов.

В проблеме рационального освоения минеральных ресурсов рудных месторождений, ориентируясь на переработку сырья, систематизация опубликованных сведений позволяет логически выделить следующие основные уровни, определяемые дедуктивным методом, т.е. по принципу «от общего к частному»:

– стратегические направления рационального освоения месторождений, предусматривающие обеспечение полноты и комплексности извлечения полезных ископаемых и рациональное использование поверхности земельного отвода, а также сохранение неразрабатываемых запасов полезных ископаемых;

– общие направления рационального использования полезных ископаемых, охраны недр и земель, основанные на повышении качества геологической разведки (доразведки), полноты извлечения полезных ископаемых из недр, эффективном использовании поверхности земельного отвода и комплексном использовании минерального сырья;

– пути развития ресурсосберегающих технологий: обеспечение полноты извлечения полезных ископаемых из недр; ресурсосберегающая переработка добытых из недр полезных ископаемых;

– частные направления рационального освоения ресурсов недр (на базе количественно-качественных показателей добычи и переработки) и сохранения неразрабатываемых участков недр: повышение степени извлечения при переработке; доизвлечение полезных компонентов на стадии переработки руд;

– кучное выщелачивание из отвалов, отходов, шлаков; очистка промстоков перерабатывающих предприятий; совершенствование технологий переработки мине-

рального сырья; вовлечение в переработку отходов горного производства, металлургии и теплоэнергетики (основанной на угольном топливе);

– группы мероприятий по сокращению количества складированных на поверхности твердых и жидких отходов и потерь с ними ценных компонентов;

– технологии очистки промышленных стоков в экологических целях (коагулирование, флокулирование, нейтрализация, биохимическая очистка, пароциркуляция и др.) и с целью доизвлечения ценных компонентов (отстаивание, фильтрование, экстракция, адсорбция, термоочистка);

– способы извлечения ценных компонентов: обогащение полезных ископаемых при первичной переработке руд; доизвлечение ценных компонентов водными растворами с последующим выделением металлов из растворов гидрометаллургическими методами; пирометаллургия;

– процессы концентрации ценных компонентов: концентрация при первичной переработке твердых полезных ископаемых; выщелачивание, ионнообменные процессы, экстракция; процессы выделения полезных компонентов из водных растворов; процессы разделения неоднородных дисперсных систем;

– стадии (операции) процессов концентрации ценных компонентов;

– технологические схемы переработки руд с предварительным обогащением: технологические схемы с радиометрической сортировкой, с предварительным усреднением, с предварительной концентрацией;

– методы предварительного обогащения руд;

– методы кондиционирования флотационных пульп, раскрытия минералов и увеличения удельной поверхности обогащаемого материала;

– физические методы кондиционирования флотационных пульп: термический, газовый, ультразвуковой, электрохимический, электромагнитный, комбинированные методы;

– методы основного обогащения: магнитоэлектрические, гравитационные и флото-гравитационные методы; флотационные методы всех видов – пенная, флокулярная, ионная, эмульсионная, агломерационная; электрофлотация;

– флотационные фазы (твердая минеральная, жидкая, газообразная);

– процессы, осуществляемые при гидрометаллургических методах: осаждение ги-

дрокисей, сульфидов, солей неорганических и органических; разделение пульпы и эмульсий; фильтрование; все виды промывки;

– операции, осуществляемые при гидрометаллургических методах;

– факторы, влияющие на основные процессы обогащения, в частности на флотацию: свойства поверхности минералов, скорость и степень окисления, вторичные изменения минеральной фазы, реагентный режим.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ проблемы на основе системного анализа показал, что в настоящее время разрядноимпульсные методы в области переработки минерального сырья нашли применение в основном в операциях дробления и измельчения. При этом подавляющее большинство авторов работ в этой области считают, что генеральное разрушение твердых сред происходит за счет прямой волны сжатия, а некоторые исследователи отмечают возможность использовать для разрушения твердых веществ растягивающие усилия, возникающие при отражении волн сжатия от свободной поверхности тела на границах неоднородностей структуры материала. При недостаточной изученности действия прямой волны сжатия, роль отраженных волн практически не находила места в теоретических исследованиях.

В технологиях переработки минерального сырья исключительно важную роль играет возможность изменения свойств поверхности минеральных материалов. Направленное изменение поверхностных свойств минералов достигается энергетическими воздействиями при различных методах: электрохимических, термохимических, гидротермальных, термальном сульфидировании, ультразвуковом, радиационных, электронно-лучевых, плазменных и других. Очевидно, что эффективное воздействие на изменение свойств поверхности минералов (в виде твердой фазы технологической пульпы) должно наблюдаться и при разрядноимпульсных методах, что обусловлено особенностью энергетики процесса. В общем случае под импульсным воздействием следует понимать мгновенный подвод к технологическому объекту энергии, характеризующейся динамическими параметрами ударных волн, длительностью воздействия, частотой повторения импульсов и скважностью. Основываясь на фундаментальных выводах А.Л. Лифшица и М.Ш. Отто, от-

носящимся к импульсным методам подвода энергии [10], нами выделен ряд эффектов, связанных как с источником импульсов, так и с технологическим объектом.

Технологическая эффективность импульсных методов основана на экстремально-комбинированном воздействии на технологический объект, при котором реализуются специфические эффекты: эффект пространственной концентрации мощности, который проявляется в технологическом объекте и может управляться выбором технологического объекта и его параметров; эффект нестационарности, определяющий возможность управления концентрацией энергии во времени и в заданном пространстве изменением длительности собственно импульса, давления на фронте импульса и формы последнего; эффект повышения импульсной мощности, позволяющий достичь трансформации мощности источника импульса от номинальной до кратковременно максимальной и проявляющийся в случаях, когда процессы в технологическом объекте имеют пороговый характер, в корне изменяющий условия химического равновесия технологического объекта; эффект торможения, проявляющийся в переходе вещества в новое состояние, характеризующееся новыми свойствами технологического объекта.

Процессы, происходящие в канале высоковольтного разряда, безусловно должны сказаться на результатах воздействия на твердую и жидкую фазы технологической пульпы.

Заключение

Влияние разрядноимпульсной обработки на изменение свойств поверхности минералов не имеет достаточно полного теоретического и экспериментального изучения. Практически отсутствуют сведения о применении разрядноимпульсной обработки в таких операциях и процессах, как сгущение, дегидратация, кондиционирование жидкой фазы, регулирование флотационного поведения минералов. Такие исследования имеют особое значение для технологий, направленных на очистку промстоков от взвешенных материалов. Глобальной трудностью очистки промстоков при освоении минеральных ресурсов недр является осветление воды от мельчайших шламистых и глинистых частиц, представляющих собой коллоиды, в которых каждая частица обладает ярко выраженными свойствами диполя и поверхностные свойства

таких частиц препятствуют образованию более крупных структур, что в целом практически исключает возможность бездефектного осветления воды от механических примесей крупностью менее 10 мкм.

Известно, что кристаллы слоистых и слоистоленточных силикатов, к которым принадлежат глинистые минералы и в большинстве своем породные, шламистые частицы, имеют достаточно выраженную трехмерную структуру. Эти природные образования обладают гидрофильной поверхностью, склонностью к сорбции и ионным реакциям, набуханию и формируют в предельно концентрированных и разбавленных дисперсиях обратимо разрушающиеся и восстанавливающиеся пространственные сетки. Такое строение определяет целый ряд их особенностей, в том числе избирательные контактные взаимодействия, которые могут быть реализованы за счет эффекта торможения и перехода минерального вещества в состояние, когда поверхность кристаллов приобретает новые свойства.

Следовательно, системный анализ позволяет существенно расширить область применения разрядноимпульсных методов в технологиях освоения минеральных ресурсов, главным образом за счет совершенствования или разработки новых технологий по всей цепочке переработки минерального сырья при обогащении (область исследований) на базе комбинированного воздействия за счет применения разрядноимпульсной обработки (способ исследований) в качестве дополнительного элемента технологии.

Список литературы

1. Агошков М.И. Технико-экономическая оценка извлечения полезных ископаемых из недр / М.И. Агошков, В.И. Никаноров, Е.И. Панфилов и др. – М.: Недра, 1974. – 330 с.
2. Ростовцев В.И. Научное обоснование и разработка интенсифицирующих методов энергетических воздействий на твердую и жидкую фазы труднообогатимого минерального сырья: автореф. дис. ... док. техн. наук. – Чита, 2012. – 39 с.
3. Чантурия В.А. Инновационные технологии переработки техногенного минерального сырья / В.А. Чантурия, В.Е. Вигдергауз // Горный журнал. – 2008. – № 6. – С. 71–74.
4. Чантурия В.А. Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки минерального сырья // Выступление на Первом национальном горнопромышленном форуме 27.11.2014 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.youtube.com/user/DatorCommunication> (дата обращения: 20.09.2017).

[youtube.com/user/DatorCommunication](http://www.youtube.com/user/DatorCommunication) (дата обращения: 20.09.2017).

5. Круглицкий Н.Н. Физико-химическая механика дисперсных систем в сильных импульсных полях / Н.Н. Круглицкий, Г.Г. Горovenko, П.П. Малошевский. – Киев: Наук. думка, 1983. – 192 с.
6. Борисков Ф.Ф. Интенсификация процессов переработки минерального сырья воздействием наносекундных импульсов гидравлических ударов // ГИАБ. – 2008. – № 7. – С. 257–264.
7. Хопунов Э.А. Анализ причин низкой энергоэффективности процессов разрушения минерального сырья // Современная техника и технология. – 2014. – № 10. – С. 42–51.
8. Носков В.А. Эффективность применения малоотходных и безотходных технологий при комплексном использовании сырья / В.А. Носков // Записки Горного ин-та. – 2011. – Т. 193. – С. 313–314.
9. Манцевич М.И. Комбинированные технологии переработки руд цветных металлов / М.И. Манцевич, Р.А. Малиновский, Г.А. Лапшина и др. // Сб. науч. трудов ин-та «Гинцветмет», 2009. – С. 529–538.
10. Лифшиц А.Л. Импульсная электротехника / А.Л. Лифшиц, М.Ш. Отто. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 352 с.

References

1. Agoshkov M.I. Tehniko-jekonomicheskaja ocenka izvlechenija poleznyh iskopaemyh iz neдр / M.I. Agoshkov, V.I. Nikanorov, E.I. Panfilov i dr. M.: Nedra, 1974. 330 p.
2. Rostovcev V.I. Nauchnoe obosnovanie i razrabotka intensivirovannykh metodov jenergeticheskikh vozdeystvij na tverduju i zhidkiju fazy trudnoobogatimogo mineralnogo syrja: avtoref. dis. ... dok. tehn. nauk. Chita, 2012. 39 p.
3. Chanturija V.A. Innovacionnye tehnologii pererabotki tehnogennogo mineralnogo syrja / V.A. Chanturija, V.E. Vigdergauz // Gornyj zhurnal. 2008. no. 6. pp. 71–74.
4. Chanturija V.A. Progressivnye metody obogashhenija i kompleksnoj pererabotki mineralnogo syrja // Vystuplenie na Pervom nacionalnom gornopromyshlennom forumе 27.11.2014 [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://www.youtube.com/user/DatorCommunication> (data obrashhenija: 20.09.2017).
5. Kruglickij N.N. Fiziko-himicheskaja mehanika dispersnyh sistem v silnyh impulsnyh poljah / N.N. Kruglickij, G.G. Gorovenko, P.P. Maljushevskij. Kiev: Nauk. dumka, 1983. 192 p.
6. Borisov F.F. Intensifikacija processov pererabotki mineralnogo syrja vozdeystviem nanosekundnyh impulsov gidravlicheskikh udarov // GIAB. 2008. no. 7. pp. 257–264.
7. Hopunov Je.A. Analiz prichin nizkoj jenergojeffektivnosti processov razrushenija mineralnogo syrja // Sovremennaja tehnika i tehnologija. 2014. no. 10. pp. 42–51.
8. Noskov V.A. Jefferktivnost primenenija maloottodnyh i bezottodnyh tehnologij pri kompleksnom ispolzovanii syrja / V.A. Noskov // Zapiski Gornogo in-ta. 2011. T. 193. pp. 313–314.
9. Mancevich M.I. Kombinirovannye tehnologii pererabotki rud cvetnyh metallov / M.I. Mancevich, R.A. Malinovskij, G.A. Lapshina i dr. // Sb. nauch. trudov in-ta «Gincvetmet», 2009. pp. 529–538.
10. Lifshic A.L. Impulsnaja jelektrotehnika / A.L. Lifshic, M.Sh. Otto. M.: Jenergoatomizdat, 1983. 352 p.