

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ**

**Металлургия ғылымы мен өнеркәсібінің мәселелеріне және белгілі
ғалым металлург, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі,
Қазақстан Республикасы Мемлекеттік сыйлығының иегері
Болат Балтақайұлы Бейсембаевті еске алуға арналған
«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»
атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның**

МАТЕРИАЛДАРЫ

МАТЕРИАЛЫ

**Международной научно-практической конференции
«Эффективные технологии производства цветных, редких и
благородных металлов», посвященной проблемам металлургической
науки и промышленности и памяти известного ученого-металлурга,
члена-корреспондента Академии наук РК,
лауреата Государственной премии Республики Казахстан
Булата Балтакаевича Бейсембаева**

PROCEEDINGS

**of International scientific and practical conference
“The Effective Technologies of Non-Ferrous,
Rare and Precious Metals Manufacturing” devoted to the metallurgy
science and industry concerns and in memory of well-known scientist
of metallurgy, Associate Member of the National Academy
of Sciences of Kazakhstan, the honoree of the State Prize of the
Republic of Kazakhstan Bulat Baltakayevich Beisembayev**

Алматы 2018

УДК 669
ББК 34.3
Э94

Ответственный редактор: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К.

Жауапты редактор: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К.

Редакционный совет: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К., д.т.н., проф. Загородняя А.Н., д.т.н. Квятковский С.А., к.т.н. Кульдеев Е.И., к.х.н. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

Редакциялық алқа: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К., т.ғ.д., проф. Загородняя А.Н., т.ғ.д. Квятковский С.А., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., х.ғ.к. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

«Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов»: Материалы Межд. научно-практ. конф. / Сост.: к.х.н. Темирова С.С., к.т.н. Кульдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 с.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»: Халықар. ғыл. практ. конф. материалдары / Құраст.: х.ғ.к. Темирова С.С., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 б.

ISBN 978-601-323-132-7

В Материалах конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области металлургии цветных, редких и благородных металлов, обогащения минерального и техногенного сырья, получения высокочистых металлов и перспективных материалов, а также разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем, процессов и аппаратов.

Материалы конференции предназначены для ученых и специалистов, работающих в области переработки минерального сырья и материаловедения.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары» атты конференцияның материалдарында түсті, сирек және асыл металдар металлургиясы, минералдық және техногенді шикізаттарды байыту, тазалығы жоғары металдар мен келешегі зор материалдарды алу, сонымен қатар жаңа технологиялық схемаларды, үрдістерді және аппараттарды жасап шығару және олардың бұрыннан келе жатқан түрлерін жетілдіру салаларындағы іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Конференция материалдары материалтану және минералды шикізаттарды өңдеу саласында жұмыс жасайтын ғалымдар мен мамандарға арналған.

УДК 669
ББК 34.3

ISBN 978-601-323-132-7

© АО «ИМиО», 2018

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПЕРЕРАБОТКИ БЕДНОГО ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНО-УДАРНОЙ ТЕХНИКИ

<https://doi.org/10.31643/2018-7.56>

Шадрунова И.В.¹, Горлова О.Е.², *Колодежная Е.В.³,
ORCID: 0000-0002-4410-8182 0000-0003-1142-0652 0000 0002 0252 4479
Артамонов А.В.³, Гаркави М.С.³

¹ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр
имени академика Н. В. Мельникова РАН», г. Москва, Россия;

²ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет
имени Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия;

³ЗАО «Урал-Омега», г. Магнитогорск, Россия, *kev@uralomega.ru

Аннотация. В работе представлены разработанные рекомендации по выбору и обоснованию наиболее эффективного способа разрушения труднообогатимого техногенного сырья при построении оптимальных топологий схем его переработки, как на стадии дробления для селективного раскрытия по границам срастания фаз при существенном снижении энергозатрат и повышения показателей последующего обогащения, так и на стадии тонкого измельчения для раскрытия сложных минеральных комплексов техногенного происхождения без переизмельчения и получения продукции требуемого гранулометрического и химического составов. Показано, что при этом должны быть учтены как структурно-технологические свойства, морфометрические параметры, особенности вещественного состава техногенного сырья, так и конструктивные особенности оборудования, настраиваемые параметры и режимы его работы, место расположения операции в схеме переработки.

Задача создания высокотехнологичной индустрии экономически эффективной и экологически безопасной переработки отходов производства признана актуальной и имеющей важное государственное значение. Об этом свидетельствует принятие Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года [1].

Значительно снизить экологическую нагрузку в регионах присутствия, вернуть в оборот площади земельного фонда, занятые техногенными образованиями, и производить широкий ряд коммерчески востребованных продуктов и материалов помогут технологии комплексной переработки наиболее крупнотоннажных отходов – горнопромышленных. Научно-технический и производственный потенциал отрасли утилизации горнопромышленных отходов должны составлять научные исследования, направленные на создание теоретических основ процессов глубокой переработки техногенного сырья всех видов, современные инновационные разработки экологически безопасной и экономически эффективной переработки отходов с получением ценных продуктов, а также технологическая база, обеспечивающая эту отрасль промышленности российским высокотехнологичным конкурентоспособным, экологически безопасным оборудованием, мобильными установками.

Одной из таких высокотехнологичных отечественных разработок может служить центробежно-ударная техника дезинтеграции и сухие технологии переработки природного и техногенного минерального сырья на ее основе. Принцип разрушения ударом свободнолетающего куска о преграду был известен, но создание надежной центробежно-ударной техники стало возможным только после разрешения некоторых технических и материаловедческих ограничений. Так, внедрение принципа самофутеровки позволило решить проблему износа, а переход на газостатическую опору

– расширить диапазон линейных скоростей роторных систем и сделать работу оборудования более надежной [2]. В настоящее время в российских компаниях, производящих центробежно-ударную технику, ведутся работы по оптимизации конструкции быстроизнашиваемых деталей и повышению коэффициента использования центробежно-ударного оборудования с применением методов численного компьютерного моделирования, которые позволяют с высокой степенью точности выполнить пошаговое исследование движения частиц материала и образования мест повышенного износа [3].

Машины, для которых характерны наименьшие удельные энергетические затраты, имеют следующие отличительные признаки работы. Во-первых, материал после акта разрушения немедленно удаляется из их рабочей зоны. Во-вторых, все они работают по принципу разрушения свободного зерна в монослое или свободного удара. Центробежно-ударные дробилки, обладая всеми перечисленными преимуществами, имеют небольшие габариты и легко поддаются регулированию, что дает возможность оптимизировать режим селективной дезинтеграции рудных и нерудных материалов.

Разрушение в центробежно-ударных мельницах осуществляется также за счет ударного нагружения. При этом скорость вращения ускорителя мельницы достигает 100 м/с. Измельченный материал выносится потоком воздуха во встроенный воздушный классификатор мельницы, где происходит выделение фракций требуемой тонины, а недоизмельченный материал направляется в ускоритель для дальнейшего измельчения. Это обеспечивает непрерывное выведение из процесса готового по крупности продукта сразу после разрушения, что позволяет избежать переизмельчения материала и снизить удельную энергоемкость, а тонкая регулировка работы классификатора позволяет получать заданные узкие, строго определенные фракции готового продукта и решать задачи обогащения.

Еще одним сдерживающим фактором, при принятии решения о переработке техногенного сырья, является отсутствие у отечественных фирм-разработчиков готовых комплексных технологических линий, охватывающих весь производственный цикл от транспортирования отходов с отвалов до получения готовой продукции и утилизации отходов вторичной переработки. Большинство фирм-разработчиков ограничиваются поставками технологического оборудования, не давая гарантий по качеству получаемой продукции.

Проектирование современных технологических линий по переработке техногенного сырья должно осуществляться на основании модульного подхода. При этом технологическая линия представляет собой совокупность отдельных модулей технологических операций, направленных на решение функциональной задачи, – вскрытие ценного компонента, выделение части материала с отвальным содержанием, выделение крупнокускового готового продукта, обесшламливание, разделение материала на концентрат и хвосты по наиболее контрастному признаку и т.п.

Учитывая ограниченную номенклатуру модулей и возможность их повторяемости, можно существенно снизить разнообразие технологических операций и тем самым упростится разработка технологических линий переработки техногенного сырья. При реализации модульного подхода при проектировании следует рассматривать построение технологического процесса как компоновку из модулей – сборочных единиц. Осуществление такого подхода невозможно без разработки достаточного количества модулей, учитывающих структурно-технологические свойства, морфометрические параметры, особенности вещественного состава техногенного сырья, конструктивные особенности оборудования, настраиваемые параметры и режимы его работы, место расположения модулей в схемах переработки. Авторами проведено обобщение результатов собственных исследований по изучению характеристик техногенного сырья и опыта разработки технологических линий по его обогащению с использованием центробежно-ударных аппаратов [4.5] (таблица).

Таблица – Рекомендации по построению технологических линий переработки бедного природного и техногенного сырья с использованием центробежно-ударной техники

Виды сырья	Примеры сырья	Разделительный признак	Модуль	Технологические операции	Получаемая продукция
Бедные руды	<p>Марганцевые руды (оксидные)</p> <p>Руды характеризуются сложным структурно-текстурным рисунком. Структура скрытокристаллическая. Текстура прожилково-пятнистая.</p>	<p>1. Различие микротвердости слагающих руду минералов (кварц, хлорит и псиломелан, пирролизит).</p> <p>2. Контрастность магнитных свойств породных и рудных минералов.</p>	<p>1. Селективного вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов (крупностью менее 0,074 мм).</p> <p>2. Выделение кварца/обесшламливание.</p> <p>3. Разделение контрастных минералов в магнитном поле.</p>	<p>1. Измельчение в аппаратах, реализующих ударное разрушение;</p> <p>2. Воздушная классификация в центробежном классификаторе.</p> <p>3. Высокоградиентная магнитная сепарация.</p>	<p>- Марганцевый концентрат с массовой долей Mn более 40%.</p> <p>- Тонкодисперсные наполнители для шпаклёвочных смесей на цементной основе.</p>
	<p>Золотосодержащие руды</p> <p>Руды кварц-сульфидного состава с содержанием золота до 1 г/т. Содержание углеродистого вещества до 5%. Включенное в пирит золото имеет размер от 5 до 40 мкм, располагается как в центре зерен пирита, так и в краевой части.</p>	<p>1. Различие микрохрупкости золота и минералов породы.</p> <p>2. Различие плотности золотосодержащих фаз и вмещающих пород.</p>	<p>1. Селективное вскрытие золотосодержащих (при крупности 5 – 15 мм) с образованием широкой сети микротрещин и дефектов в минералах породы.</p> <p>2. Выделение сульфидной части материала и части хвостов с отвальным содержанием при гравитационной классификации.</p> <p>3. Гидрометаллургическая переработка.</p>	<p>1. Дробление в аппаратах ударного действия в режиме «самофутеровки».</p> <p>2. Классификация в каскадно-гравитационном классификаторе.</p> <p>3. Выщелачивание.</p>	Золотосодержащий раствор

Металлургические шлаки	<p>Шлаки цветной металлургии</p> <p>Шлаки от выплавки меди, отвалы и гранулированные содержащие до 5% меди как в обособленной фазе, так и в виде соединений образованной в процессе выплавки. Также в шлаках присутствуют Zn, Ag, Au. Ввиду неравновесных условий образования шлаки обладают сложными текстурно-структурными характеристиками и фазовым составом, повышенной абразивностью.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Различие микротвердости и микрохрупкости основных фаз шлаков. 2. Округлая форма выделений металлической фазы крупностью от 0,05 мм до 0,35 мм. 3. Наличие реакционной каемки, окружающей частицы металлической меди и представленной шпинелью. 4. Повышенная абразивность 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Селективная дезинтеграция шлаков до крупности менее 5 мм. 2. Селективное вскрытие тонкодисперсных минеральных комплексов (крупностью до 0,05 мм). 5. Разделение контрастных минералов в центробежном поле. 6. Флотация. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Дробление в аппаратах ударного действия в режиме «самофутеровки». 2. Измельчение в аппаратах, реализующих ударное разрушение. 3. Классификация в центробежных аппаратах современной конструкции по заданной границе разделения. 4. Флотация шлака в присутствии сульфидрильных собирателей 	Медный концентрат с массовой долей меди до 25%
Сырье электротехнической и огнеупорной промышленности	<p>Плавленый периклаз некондиционный</p> <p>Выплавленный блок неоднороден по химическому составу, плотности, макро- и микроструктуре. Материал промежуточных зон блока, не удовлетворяющий требованиям ГОСТ по химическому составу (массовая доля оксида магния менее 95%), может быть использован для производства электротехнических порошков только после обогащения.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Силикаты, образуют пленки на межкристаллических границах периклаза, обладают определенной пространственной протяженностью, тесно связанной с удельной поверхностью кристаллов периклаза. 2. Различие микротвердости и микрохрупкости основных фаз. 3. Наличие примесей, обладающих магнитными свойствами. 4. Требования к отсутствию намола (аппаратного железа) в продуктах переработки (содержание магнитных включений не более 0,02 %). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Селективное вскрытие тонкодисперсных минеральных комплексов (крупностью до 0,05 мм) 2. Селективное удаление частиц пустой породы шламовых размеров. 3. Разделение контрастных минералов в магнитном поле. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Измельчение в аппаратах, реализующих ударное разрушение при невысоких скоростях работы ускорителя мельницы. 2. Классификация в центробежных аппаратах современной конструкции по заданной границе разделения. 3. Магнитная сепарация в электросепараторах. 	Порошки электротехнического периклаза

При переработке минерального сырья разделение минералов с концентрированием компонентов в соответствующих продуктах переработки происходит, как правило, в два основных этапа – рудоподготовительный и собственно обогатительный. На первом этапе, в процессах рудоподготовки необходимо произвести дезинтеграцию минерального вещества на фазы с разным содержанием полезных компонентов. Для выбора наиболее рационального с точки зрения селективности и энергоемкости способа разрушения особенно важны такие характеристики техногенного минерального сырья как крупность и форма выделений рудных минералов, степень их неоднородности, характер излома, границ срастания, разница в механических свойствах между рудными и находящимися с ними в контакте нерудными минералами (твердость, хрупкость, абразивность, склонность к ошламованию), что предопределяет степень высвобождения минералов из сростков, конечную крупность измельчения, концентрацию и перераспределение ценных минералов и металлов в продуктах дезинтеграции, стадийность обогатительных процессов, характер и структуру потерь ценных компонентов. На втором этапе переработки минерального сырья, для разделение высвободившихся в процессах рудоподготовки минеральных фаз в разноименные продукты, наиболее важны различия их физических, физико-механических, физико-химических свойств, химического состава. Как следует из приведенных примеров (таблица), при разработке технологических схем и линий переработки столь разнообразных объектов всегда учитывался разделительный признак, то есть особенности минерального и фазового состава, различие в физических, физико-механических, структурно-текстурных, морфометрических параметрах сырья и т.п. Это обеспечивало правильный выбор модулей для построения технологической схемы, селективное вскрытие минеральных комплексов в процессах дробления и/или измельчения, разделение по наиболее контрастному технологическому свойству в последующем обогатительном процессе, при необходимости селективное удаление частиц пустой породы и, в конечном итоге, получение продуктов разделения с заданными или приемлемыми показателями качества.

Описанный подход был реализован при разработке технологий обогащения как природного, так и техногенного сырья, в том числе некондиционных продуктов переработки шлаков черной металлургии. Была поставлена задача обогащения механическими методами образующихся в процессе переработки на шлакоперерабатывающем участке металлосодержащих материалов до содержания железа общего не ниже 65 %. В процессе исследований были установлены следующие разделительные признаки: различие микротвердости и микрохрупкости основных фаз шлаков; наличие крупных (до 50 мм) металлических включений, не разрушающихся в аппаратах дезинтеграции и приводящих к заклиниванию и поломкам дробильного оборудования; различие плотности металлической и шлаковой фаз; повышенная абразивность. На основании выбора модулей технологических операций была составлена схема переработки шлаков (рисунок).

При переработке объекта по данной схеме достигнуты целевые показатели по содержанию железа общего в готовых продуктах требуемых фракций: 62 – 76% во фракции 0 – 10 мм, 70 – 71% во фракции 10 – 50 мм.

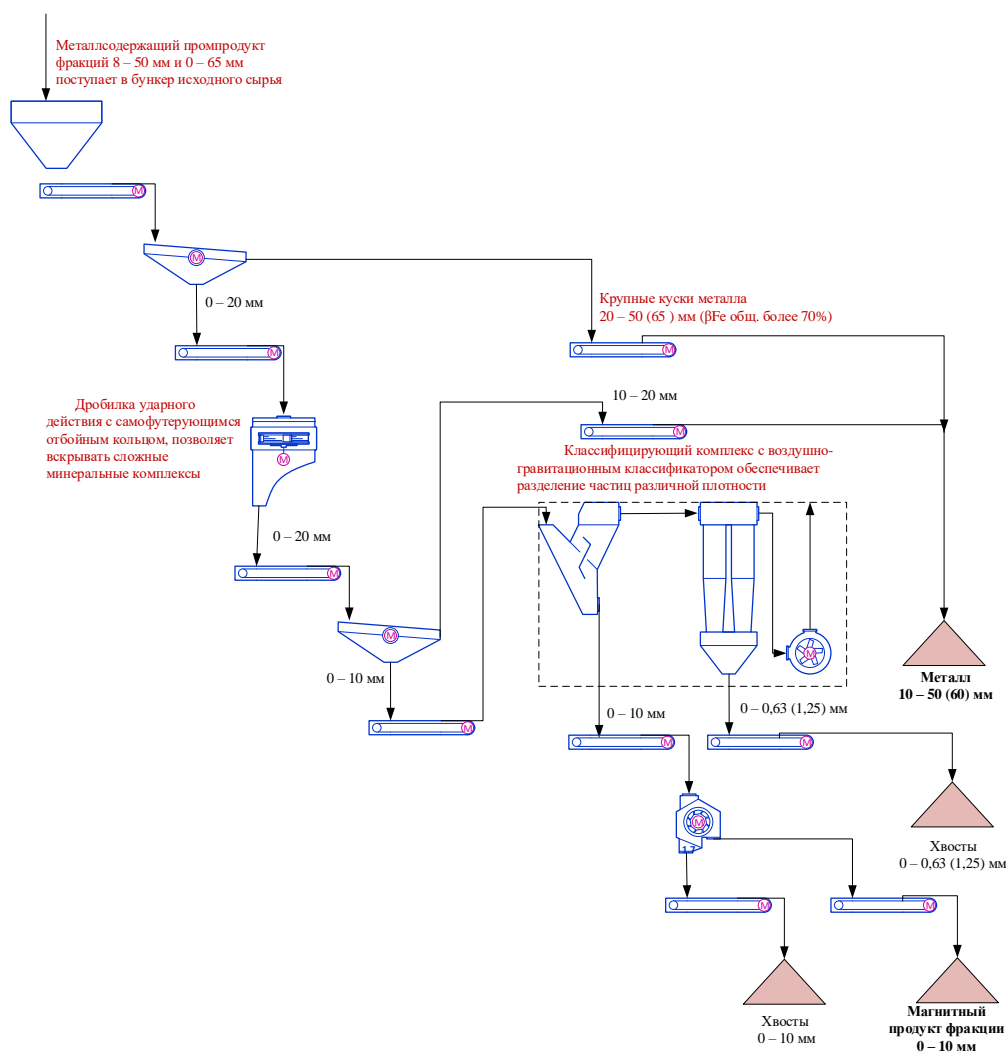


Рисунок – Схема цепи аппаратов линии по переработке некондиционных продуктов переработки шлаков черной металлургии

Таким образом, сегодня эффективность освоения техногенных минеральных объектов определяется обоснованностью направления использования сырья, обеспечивающего наилучшие результаты функционирования эколого-экономической системы, правильностью выбора технологических процессов разделения минеральных комплексов, соответствующих особенностям вещественного состава перерабатываемого сырья, построением оптимальной технологической схемы переработки, которая бы удовлетворяла требованиям рациональности и комплексности, экономичности, экологичности и в целом общественной полезности использования минерально-сырьевого ресурса. Детальное изучение сырья с привлечением всех средств современной технологической минералогии, выявление наиболее значимых разделительных признаков его фаз и разработка на основании полученных данных модулей технологических операций послужат фундаментальной основой проектирования современных технологических линий переработки бедного природного и техногенного минерального сырья.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №. 16-05-00818.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года. URL: <http://static.government.ru/media/files/y8PMkQGZLfbY7jhn6QMruaKoferAowzJ.pdf>
2. Бороха Э.Л., Воробьев В.В., Горобец А.В. Центробежные дробилки и мельницы ударного типа // Центробежная техника – высокие технологии. Минск, 2008. – С.5-16.
3. Хозей А.Б. Компьютерное моделирование характера износа рабочих органов центробежно-ударной техники // Переработка минерального сырья. Инновационные технологии и оборудование: сб. трудов VI Межд. научно-техн. конф. Минск, 4 – 5 октября 2016 г.– С. 22 – 24.
4. Оценка минералого-технологических особенностей техногенного минерального сырья при прогнозировании возможностей его переработки и селективности дезинтеграции / И.В. Шадрунова, Е.В. Колодежная, Е.Г. Ожогина, О.Е. Горлова // Технологическая минералогия природных и техногенных месторождений: сборник статей IX Российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. – С. 35-42.
5. Slag disintegration selectivity / Shadrunkova I. V., Ozhogina E.G., Kolodezhnaya E.V., Gorlova O.E. // Journal of Mining Science. – 2013. – Т.49. – №5. – С.831-838.

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF TECHNOLOGICAL LINES OF PROCESSING OF POOR NATURAL AND TECHNOGENIC RAW MATERIALS WITH THE USE OF CENTRIFUGAL-IMPACT EQUIPMENT

Shadrunkova I.V.¹, Gorlova O.E.², Kolodezhnaya E.V.³,
ORCID: 0000-0002-4410-8182 0000-0003-1142-0652 0000 0002 0252 4479
Artamonov A.V.³, Garkavi M.S.³

¹Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

²Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia;

³“Ural-Omega”, Magnitogorsk, Russia, *kev@uralomega.ru

Abstract. *The paper presents the developed recommendations for the selection and justification of the most effective method of destruction of difficult-to-enrich technogenic raw materials in the construction of optimal topologies of its processing schemes, both at the stage of crushing for selective disclosure along the boundaries of phase fusion with a significant reduction in energy consumption and increase in subsequent enrichment, and at the stage of fine grinding for the disclosure of complex mineral complexes of technogenic origin without regrinding and obtaining the products of the required granulometric and chemical compositions. It is shown that this should take into account both structural and technological properties, morphometric parameters, features of the material composition of man-made raw materials, and design features of the equipment, adjustable parameters and modes of operation, the location of the operation in the processing scheme.*