

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варсонофьев В.Д. Вибрационные бункерные устройства на горных предприятиях. -М.: Недра, 1984. -183 с.
2. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов: Справочник. - М.: Машиностроение, 1980. -257 с.
3. Данилова Э.А. Методы борьбы со сводообразованием. -М.: Машиностроение, 1966. -102 с.
4. Гячев Л.В. Движение материала в трубах и бункерах. -М.: Машиностроение, 1968. -205 с.

УДК 622.778:622.34

В.В. Чельшкіна, О.А. Усов

## К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ВЫСОКОГРАДИЕНТНОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД КРИВБАССА

Викладено світовий та вітчизняний досвід використання способу високоградієнтної магнітної сепарації для збагачення залізних руд. Позначені основні проблеми, які свідчать, про необхідність подальших робіт, зокрема, науково-дослідних, у цьому напрямку.

Среди технологий обогащения окисленных и смешанных руд, а также доработки продуктов обогащения железных руд по распространенности на втором месте после флотации находится высокоинтенсивная или высокоградиентная магнитная сепарация. В мировой практике этим методом наиболее часто дорабатывают гравитационный концентрат окисленных руд. Причем эти руды, преимущественно крупно вкрапленные и слабошламуемые, которых практически нет в Кривбассе.

Окисленные кварциты являются слабомагнитными и поэтому для их обогащения обычные магнитные сепараторы, применяемые для магнетитовых кварцитов, непригодны. Для развития технологии мокрого магнитного обогащения пришлось разработать новые сепараторы, принцип работы которых заключается в дренировании пульпы через слой сильно намагниченных шаров или тел другой формы. Метод полиградиентной сепарации основан на использовании эффекта увеличения градиента напряженности магнитного поля при перераспределении магнитного потока, создаваемого электромагнитной системой или системой из постоянных магнитов в слое ферромагнитных тел (полиградиентной среде), помещенных в рабочую зону сепараторов. Впервые сепаратор для слабомагнитных материалов, использующий в качестве феррозамениителя рифленые пластины, был предложен Д.Х. Джонсом [1]. В Советском Союзе еще в 1942г было выдано авторское свидетельство на «Электромагнитный фильтр» В. Г. Деркача и И. С. Дацюка, который представляет собой горизонтально- роторный сепаратор с перераспределением потока в межполюсном зазоре с помощью различной полиградиентной среды и транспортировкой водой или сжатым воздухом [2]. Изготовление сепаратора Джонса роторного типа ДР-317, а также двухроторного (диаметр ротора от 900 до 3350 мм) освоено

фирмой «Клекнер-Гумбольт-Дейц-Ведаг» (ФРГ).

Наибольшее распространение получил сепаратор Джонса ДР-317 [3,4]. Он используется для обработки мелочи из окисленных крупно вкрапленных выветрелых кварцитов (итаберитов) и богатых гематитовых руд Бразилии, а также при доводке гематитовых (гематит в виде спекулярита) концентратов. Продукты должны быть дезинтегрированы и обесшламлены по классу (0,6-0)мм. Достоверно известно, что полиградиентная сепарация используется на 4-х фабриках в Бразилии, 2-х в Канаде (Прескотт и Монреаль) и 1-ой в США (Огденсбург). Возможно также, что полиградиентная сепарация используется на 2-х фабриках в Китае и по 1-ой фабрике в Австралии, Либерии и Индии.

В качестве иллюстрации приведем некоторые данные по использованию этого метода в мировой практике.

Обогащительная фабрика Кауэ в Бразилии использует такие сепараторы для переработки 24 млн. т в год *богатой крупновкрапленной итабиритовой и гематитовой* руды с массовой долей железа 50%. На обогащение на роторных сепараторах ДР-317 (28 штук) направляется материал крупностью 1-0 мм (раздельно обогащается класс крупности 1-0,15 и 0,15-0 мм). Обогащение ведут в один или два приема при рабочем зазоре в пластинах 2,8 мм и получают концентрат с содержанием 67 % железа, промпродукт с 52-54 % Fe (для рециркуляции) и хвосты с 8-10 % Fe.

Предприятие Фабрика, также в Бразилии, обогащает 7,6 млн. т в год *богатой гематитовой* руды с 59-63,5 % железа. На сепараторы ДР-317 направляется обесшламленный материал в крупности -0,5+0,01 мм. Получают в один прием концентрат с содержанием 67-68 % Fe.

На фабрике Консейсан (Бразилия) установлено 16 сепараторов ДР-317. Перерабатываются *гематитовые и итабиритовые* руды с 48-52%Fe. На обогащение в один прием направляется обесшламленная фракция минус 1 мм, получают концентрат с 67,7% Fe.

На фабрике Мо-и-Рана в Норвегии, перерабатывающей *бедные гематито-магнетитовые* полосчатые кварциты с массовой долей железа 33 %, ранее применялась гравитационно-магнитно-флотационная схема. Сейчас применяют магнитную схему с барабанными сепараторами и сепараторами ДР-317. Хвосты обогащения барабанных сепараторов со слабым полем крупностью (0-0,1) мм направляют на высокоинтенсивные сепараторы и подвергают двойной очистке. Массовая доля железа в конечном продукте 65%.

Известен опыт промышленной эксплуатации отечественных высокоградиентных сепараторов на ЦГОКе (секция № 4), на НкГОКе (секция № 9, 1992г., секция № 10, 2000 г.), и сепараторов Джонса на Михайловском ГОКе (секция № 8) [5,6].

При использовании сепараторов ДР-317 на секции № 8 МГОКа был получен концентрат с качеством 58,7 % Fe при извлечении 64,5 %. Укрупненные промышленные испытания показали, что при содержании железа в исходном питании 39,0 % повышение качества концентрата с 63 % до 66 % сопровождается увеличением содержания железа в отходах с 19 % до 30 %. В настоящее время цех высокоградиентной сепарации на МГОКе не эксплуатируется.

Испытания на секции № 4 ЦГОКа показали, что при содержании железа в исходной руде 36,5 % качество концентрата может составлять 61,5 %, при извлечении железа 56,3 % и содержании железа в отходах 24 %. Работы в данном направлении на ЦГОКе были приостановлены.

Институтами Гипромашобогашение, ИГТМ АН Украины, Механобрчермет, Национальной горной академией Украины (Днепропетровский горный институт) разработан новый роторный сепаратор с высокоинтенсивным магнитным полем 6 ЭРМ-35/315. Ротор имеет 3 яруса, верхний ярус работает при пониженной индукции (0,3-0,4 Тл), на основных ярусах – 1,2 Тл. Феррозаполнителем служат рифленые пластины с зазором 4 мм [5].

Использование этого сепаратора на 4-ой секции ЦГОКа вместо ДР-317 дало возможность повысить качество концентрата (61,1 % вместо 59,7 %), и снизить содержание железа в отвальных хвостах (17,5 % вместо 20,7 %). Эти результаты не удовлетворили производство и в настоящее время ЦГОК не использует высокоградиентный метод сепарации, однако на основании этих испытаний отечественный сепаратор 6 ЭРМ-3 5/315 был принят в проекте строящегося комбината по обогащению окисленных руд КГОКОР (Кировоградская обл., п. Долинское). Отметим, что в проектной схеме комбината КГОКОР заложена технология высокоградиентной сепарации, которой предусмотрено получение концентрата с качеством 61,4 % при содержании железа в руде 34 %, в отвальных хвостах – 16 %. На строительство КГОКОРа было затрачено около 3 млрд. долл. США. Пробные запуски комбината, в целом, показали возможность достижения проектных мощностей при некоторых доработках, однако, себестоимость и потребительский спрос на производимую продукцию остаются животрепещущими вопросами производства. Очевидно, что спрос на железорудный концентрат, выпускаемый КГОКОРОм, будет чрезвычайно низким (мировые стандарты качества железорудных концентратов – 67-68 % содержания железа) и эта проблема требует отдельного решения. На сегодняшний день комбинат не введен в эксплуатацию и Министерством промышленной политики Украины рассматриваются проекты по использованию флотации на данном предприятии.

Практический опыт, полученный на ГОКах Кривбасса и Михайловском ГОКе, свидетельствует, что на показатели работы высокоградиентных сепараторов существенно влияют минералогические особенности руды, такие как тонкое прораствание и мелкая вкрапленность рудных минералов. В отличие от западных фабрик, это вынуждает работать на тонко измельченных продуктах. При переработке смешанных тонко вкрапленных и, соответственно, тонко измельченных железных руд эффект от усиления магнитного поля «смазывается» рядом известных негативных факторов, например, таких как то, что удельная магнитная сила непропорционально быстро уменьшается с уменьшением крупности частиц. Кроме того, в сильных магнитных полях (с напряженностью магнитного поля около 1 Тл) сепарация в водной среде приводит к усилению парамагнитных свойств не только слабомагнитных рудных, но, в том числе, и нерудных минералов. Так экспериментально подтверждено наличие парамагнетизма у кварца в полях свыше 1 Тл и создаются магнитные сепараторы с

напряженностью поля до 3 Тл для разделения немагнитных редкоземельных и строительных материалов.

На сегодня надежность работы аппаратов высокоградиентной сепарации не высока. Это связано с тем, что в окисленной исходной руде, и, соответственно, в питании сепараторов, неизбежно присутствует магнетит, поскольку раздельная выемка этих минералов на практике не осуществима. Наличие магнетитовых фракций в поле высокоградиентных сепараторов вызывает активную флокуляцию, которая ведет к засорению матриц сепараторов, что практически дестабилизирует их работу. Это, в частности, подтверждает сегодняшний опыт эксплуатации высокоградиентного сепаратора типа ЭРМ по доработке хвостов магнитной сепарации на 10 секции НкГОКа. Для преодоления вышеперечисленных негативных факторов необходимы углубленные научно-исследовательские работы, что позволит создать новые технические и технологические решения.

В целом известный практический опыт показал, что при магнитной сепарации в сильных полях производится низкосортный концентрат с содержанием железа менее 61 %, как правило, 57-58 %.. На себестоимости продукции сказывается тот факт, что при одинаковой производительности сепараторов типа ПБМ и высокоградиентных сепараторов, в последних установочная мощность и расход электроэнергии примерно в 10 раз выше. Однако технология высокоградиентной магнитной сепарации по-прежнему привлекает внимание ученых и потребителей, в частности, потому, что она лишена экологических проблем по сравнению с флотацией [7,8]. Реальный интерес представляет возможность усреднения концентрата высокоградиентных сепараторов с более богатым, полученным иными методами, при условии повышения ненадежности работы оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джонс Д.Х. Сепаратор для мокрой магнитной сепарации слабомагнитных материалов // Международный конгресс по обогащению полезных ископаемых. -М.: Госгортехиздат, 1962. -С. 424-436.
2. А.С. 60933 СССР. Электромагнитный фильтр / В.Г. Деркач, И.С. Дацюк. -Заявлено 06.01.42; опубл. -1942. -БИ №2.
3. Vale do Rio Doce with major mines of Mines Gerais and Carajas CVRD dearly dominates World iron ore // Engineering and Mining Journal. -1985. -V.186, № 11. -P. 52-58.
4. Changing and improving the CVRD experience with the Cane itabirite concentration plant // Flotation. - Japan. -1984. -V. 31, № 1. -P. 22-31.
5. Выбор оптимальных параметров пластин с наклонными выступами для матриц роторных магнитных сепараторов / Потураев В.Н., Туркенич А.М., Улабабов Р.С., Клоков В.И., Кошелевский Р.М. // Горный журнал. -1984. -№ 7. -С.40-44.
6. Обогащение окисленных кварцитов Михайловского месторождения / Ковальчук Х.У., Першуков А.А., Аркашова З.П. и др. // Переработка окисленных руд. -М.: Наука, 1985. -С. 88-93.
7. Туркенич А.М., Лапшин Е.С., Дудник В.И. Ресурсосберегающий метод сепарации слабомагнитных руд в поле преграждающих магнитных сил // Горный журнал. -1995. -№ 8. -С. 33-34.
8. Повышение качества концентрата на горно-обогажительных комбинатах / Губин Г.В., Губин Г.Г. // Труды V Международного конгресса доменщиков. -Днепропетровск: Пороги, 1999. -С. 95-98.