

УДК

**А.И. Месеняшин, Н.А. Логачева**

ОАО «Механобртехника»  
г. Санкт-Петербург

## **РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ ДОВОДКИ РУД РЕДКИХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

За последние годы повысился интерес к электростатической сепарации и соответственно – спрос на электростатические сепараторы. Это экологически чистый процесс, который не загрязняет окружающую среду химическими реагентами, не потребляет воды и может быть использован в районах с ограниченными водными ресурсами. Электростатические сепараторы просты в эксплуатации и не имеют быстроизнашивающихся дорогостоящих деталей, мощность электрического оборудования сепараторов небольшая [1-5].

С учетом особенностей этого процесса и оборудования для его осуществления прикладные работы велись в следующих направлениях: создание электросепараторов различной производительности для доводки редкометаллических концентратов; разработка технологии и создание электросепараторов для выделения металлов из вторичного сырья (отходов и устаревших деталей электро- и радиоаппаратуры, кабеля и т. д.); регенерации материалов-диэлектриков (например, пластмасс) при их вторичном использовании; глубокая очистка металлических порошков от окислов и неметаллических частиц, и наоборот: глубокая очистка неметаллических частиц от проводящих частиц; обогащение неметаллорудного сырья (полевых шпатов, кварца, волластонита, слюды); классификация материалов по крупности и форме.

### *Оборудование для электростатической сепарации*

Наибольшим спросом продолжают пользоваться барабанные сепараторы. Разработано несколько их модификаций (таблица).

В барабанных сепараторах "Механобртехники" использованы современные разработки и комплектующие, устранены недостатки предыдущих моделей. Это позволило значительно увеличить срок службы коронирующих электродов, щеток и барабана, повысить и стабилизировать технологические показатели, облегчить наладку сепараторов для получения оптимальных результатов.

Сепараторы ЗЭБ-32/50 имеют длину барабана (осадительного электрода) 500 мм и диаметр 320 мм. Большой диаметр барабана дает возможность устанавливать различные конструкции высоковольтных электродов (коронирующих, отклоняющих) и электродов очистки (рисунок). Такая

## Магнітна і електрична сепарація

конструкция позволяет увеличить производительность сепараторов и повысить технологические показатели за счет широкого веера сепарируемого материала. Производительность сепараторов зависит от крупности сепарируемых частиц и требований к качеству концентратов. Конструкция сепараторов предусматривает трехкратную сепарацию, имеются модификации с возможностью нагрева материала и электрической очистки барабана. Потребляемая мощность без учета нагревательных устройств – 3 кВт.

В настоящее время освоено производство нового типоразмера электростатического сепаратора 2ЭБ-32/150 (таблица) с длиной барабана 1,5 м. Сепаратор нашел применение для доводки черновых концентратов руд редких и цветных металлов, а также для сепарации вторичного сырья. Технологическая секция сепараторов содержит два блока сепарации, установленных друг под другом, что позволяет осуществлять перечистку сепарируемого материала.

Набор высоковольтных электродов различной конструкции дает возможность создавать поле коронного разряда, электростатическое поле и их комбинацию.

На базе сепаратора 2ЭБ-32/150 разработан сепаратор для обогащения волластонитовых руд, а именно: для отделения от частиц волластонита, частиц кальцита и кварца. Этот сепаратор может быть также использован для получения высококачественного полевошпатowego сырья.

В комплект с технологической секцией барабанных сепараторов входит также пульт управления, который выполняется автономно и устанавливается в удобном для обслуживания месте. Высоковольтные установки смонтированы внутри пульта управления.

Таблица

Технологические показатели электростатических сепараторов

Параметры	3ЭБ-32/50	2ЭБ-32/150
Производительность, т/ч	0,1 – 0,8*	0,3 – 2,5*
Крупность исходного материала, мм	0,05 – 4,0	0,05 – 4,0
Диаметр осадительного электрода, мм	320	320
Длина осадительного электрода, мм	500	1500
Количество секций (стадий сепараций), шт.	3	2
Напряжение высоковольтного питания при постоянном токе до 12 мА, кВ	35	35
Потребляемая мощность без учета подогрева, не более, кВт	3	4
Габаритные размеры, мм:		
длина	1200	2160
ширина	1100	1200
высота	2700	3000
Масса сепаратора, кг	970	2200
Масса пульта управления, кг	100	100

## Магнітна і електрична сепарація

\* – производительность зависит от свойств перерабатываемого материала.

Разработано несколько модификаций принципиально новых трубчатых сепараторов. Сепараторы представляют собой конструкцию с рядом полых труб, внутри которых монтируются высоковольтные электроды. Эти сепараторы имеют в единице объема значительно более высокую производительность, чем барабанные, так как площадь осадительных электродов у трубчатых сепараторов в десятки раз больше по сравнению с барабанными [3].

В связи с тем, что материал в зону сепарации может подвергаться как самотеком, так и в потоке воздуха, на трубчатых сепараторах возможно осуществлять сепарацию частиц крупностью менее 50 мкм. В частности, совместно с фирмой Карпко и с Виржинским политехническим институтом (США) предложен сепаратор для обогащения угольной мелочи крупностью 30 - 40 мкм.



Вид электростатического сепаратора ЗЭБ-32/50

Трубчатые сепараторы могут быть использованы для сепарации в зависимости от проводимости частиц, величин трибозаряда, а также для классификации частиц.

### *Электросепарация руд цветных и редких металлов*

Традиционная область применения электросепараторов – доводка грубых концентратов. Для титано-циркониевой группы минералов, пирохлора, лопарита, касситерита, граната, шеелита, ставролита, вольфрамита и некоторых других минералов электросепарация используется непосредственно после гравитации и перед магнитной сепарацией.

В то же время имеется пример использования сепаратора ЗЭБ-32/50 для непосредственного обогащения руды с высоким содержанием молибденита.

Совместно с Иршанским ГОК проведены исследования по очистке ильменитового черного концентрата от сидерита. Положительные результаты этих исследований позволили рекомендовать сепараторы "Механобртехники"

для этой операции.

### *Электросепарация техногенного и вторичного сырья*

Одним из источников получения цветных и редких металлов является устаревшая электрическая и радиоэлектронная аппаратура. В такой аппаратуре содержится золото, платина, серебро, ниобий, цирконий, молибден, вольфрам, медь, олово и другие металлы.

При переработке дробленого лома и отходов электро- и радиоаппаратуры разделяют материалы, имеющие контрастные и стабильные электрические свойства – проводники и непроводники. Поэтому электросепарация – эффективный метод сепарации такого лома и занимает одно из ведущих мест при извлечении из этого сырья различных металлов.

Подготовительные операции перед сепарацией – дробление и классификация материала. Верхний класс крупности зависит от типа материала и составляет 5 или 3 и 2 мм. Сепараторы для этих целей поставлялись как в Россию, страны СНГ, так и в другие страны, в частности в Японию.

При сепарации измельченного лома радиоэлектронной аппаратуры на сепараторах ЗЭБ-32/50 был получен концентрат с массовой долей металлов более 99,5% при извлечении 98%. В исходном продукте массовая доля цветных и редких металлов составляла 23-70%.

Отходы телефонного кабеля с резиновой изоляцией и медными жилами измельчались в молотковой дробилке до крупности менее 3,0 мм, в результате чего медь отделялась от резины. В проводниковом продукте массовая доля меди составляла 90-94% при извлечении 90-95%. В непроводниковом продукте массовая доля резины превышала 99,9% при извлечении 85-90%. Массовая доля металла в исходном продукте составляла 18-67% и существенно не влияла на извлечение меди в проводниковый продукт и на содержание резины в непроводниковом продукте.

В результате переработки сухих отходов абразивного производства из смеси абразивов и металлического порошка выделен металлический порошок с массовой долей металла более 92,5% при извлечении более 99%. Металлический порошок представляет собой сплав редких и цветных металлов.

Переработка некоторых видов металлических порошков, в частности из жаропрочных сплавов, не может производиться в воздушной среде. Для предотвращения окисления и адсорбции на их поверхности  $H_2O$ ,  $H_2$ ,  $CO$  такие порошки перерабатывают в среде инертных газов. Выявлено, что среда из смеси аргона и гелия обеспечивает в 10-20 раз больший ток коронного разряда, чем воздушная среда. Это позволяет отделять от металлических порошков частицы-полупроводники (оксиды, возгоны и т. д.), т.е. частицы со сравнительно высокой электропроводимостью. Из исходной массы гранул при выходе очищенного продукта 96-98% удается выделить до 98% посторонних

неметаллических включений и снизить их содержание до 20-30 частиц на 1 кг порошка.

### *Электросепарация неметаллорудных материалов*

Разработана технология по обогащению волластонитовых руд сухим методом обогащения. Схема обогащения предусматривает четыре приема электростатической сепарации с помощью аппаратов 2ЭБ-32/150. Причем сепарация осуществляется в электростатическом поле барабанных сепараторов. При этом два приема предусматривается для отделения кальцита и два приема для отделения кварца. Подготовка измельченной руды к электростатической сепарации предусматривает предварительный нагрев руды до 160 °С и трибозарядку. Трибозарядка такой руды позволяет зарядить частицы кальцита положительным зарядом, а частицы кварца – отрицательным. Частицы волластонита также заряжаются отрицательно, но величина их заряда меньше, чем у кварца.

Разделение калиевых и натриевых полевых шпатов и отделение кварца также осуществляется на барабанных сепараторах в электростатическом режиме. В зависимости от месторождений условия подготовки материала перед сепарацией могут меняться. Типовым режимом является измельчение руды до –1,0 мм и нагрев до 120 °С.

После нагрева и трибозарядки кварц в электростатическом поле отклоняется к положительному электроду, калиевый полевой шпат – к отрицательному, а натриевый полевой шпат практически не отклоняется. Исследования показали, что узкой классификации материала не требуется; в сепарируемом материале класса – 1,0 мм допускается содержание частиц размером 0,1 мм до 10 %. Режим электросепарации подбирается таким образом, что отвальные хвосты не образуются, и наряду с высококалийскими продуктами получается более дешевое сырье для стекольной и керамической промышленности.

В 90-х годах продолжалось применение технологии получения сверхчистого кварца, используемого в электронной промышленности. Исходная кварцевая крупка крупностью 0,1- 0,5 мм содержит весьма низкую (менее тысячных долей процентов) долю рудных минералов – рутила, сфена, эпидота, слюды, роговой обманки, турмалина и др. При сепарации с помощью аппарата 3ЭБ-32/50 кроме этих минералов, удаляется также аппаратурное железо и волокна из различных тканей, внесенных в крупку. После электросепарации массовая доля примесей снижается до  $(0,02 - 0,4) \times 10^{-3}\%$  при выходе концентрата более 97%.

### *Классификация по крупности и форме*

Накоплен большой опыт сепарации слюд (мусковита, биотита,

вермикулита), отличающихся от других минералов формой и диэлектрической проницаемостью.

При этом решаются задачи как очистки полевых шпатов и кварца от слюд, так и получения слюдяных, в частности вермикулитовых концентратов. В зависимости от вида сырья и требований к качеству концентратов используются барабанные, каскадные и трубчатые электросепараторы. В барабанных сепараторах применяется чередующаяся полярность коронирующих электродов и резко неравномерное электростатическое поле.

Для рассматриваемой цели представляется перспективным новый трубчатый электростатический классификатор с центральным коронирующим электродом и отклоняющим электродом в виде вращающихся трубок. Этот аппарат позволяет извлечь 80% слюды из массы сверхчистого кварца при потерях кварца не более 5%. В классификаторе используются как электрические силы, так и электрический ветер, создаваемый током коронного разряда.

### *Теория электростатической сепарации*

Возможности электростатической сепарации определяются величиной и направлением электрических сил, действующих на частицы с различными свойствами. В свою очередь эти силы зависят от величин и знаков зарядов частиц.

Традиционное направление теоретических исследований в "Механобре" – анализ движения частиц с учетом проводимости, диэлектрической проницаемости и формы [1]. Отметим, что ранее в теории электростатической сепарации было принято рассматривать идеальные проводники и диэлектрики.

За последние несколько лет сотрудниками "Механобра" опубликованы работы [6, 7], в которых рассмотрено движение полупроводящих частиц в неравномерных полях. У таких частиц величины зарядов зависят от времени установления, т.е. определяются их проводимостью, предысторией движения и их скоростью. Впервые показано, что движение реальных частиц в неравномерном поле может иметь сложные траектории, в том числе колебательные. Неучет величин проводимостей и скоростей движения частиц приводит к неправильному определению не только величины, но и знака пондеромоторных сил.

Развивалась теория электростатической сепарации частиц, контактирующих с осадительным электродом, т.е. применительно к барабанным и трубчатым сепараторам.

Показано, что знак заряда частиц зависит от соотношения величин проводимостей частицы  $\gamma_1$  и среды  $\gamma_2$  и их диэлектрических проницаемостей соответственно  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ , а именно от величины  $\gamma_1\epsilon_2 - \gamma_2\epsilon_1$ . При этом

$$\gamma_2 = \frac{j}{E_0},$$

где  $j$  – плотность тока коронного разряда;  $E_0$  – напряженность внешнего поля, т.е. регулируя величины  $j$  и  $E_0$ , можно изменять как величину, так и знак заряда частиц.

Разработана теория, позволяющая оценить заряды и силы при сепарации сростков [8].

### *Области применения электростатической сепарации*

#### 1. Сепарация руд цветных и редких металлов:

Получение высококачественных титаносодержащих концентратов.

Доводка танталсодержащих концентратов.

Доводка ниобийсодержащих концентратов.

Доводка вольфрамсодержащих концентратов.

Доводка оловосодержащих концентратов.

Доводка цирконийсодержащих руд.

Получение высококачественных молибденосодержащих концентратов.

Доводка золотосодержащих песков.

#### 2. Сепарация неметаллорудных материалов:

Доводка алмазосодержащих концентратов.

Получение вермикулитового концентрата.

Получение полевошпатовых концентратов (микроклиновых, плагиоклазовых).

Получение высококачественных слюдяных концентратов.

Обогащение фосфатных руд.

Обогащение калийных руд.

#### 3. Сепарация железных руд:

Обогащение слабомагнитных железных руд.

Получение высококачественных железных концентратов.

#### 4. Сепарация углей:

Обогащение угольной мелочи.

Сепарация угля и золы после электрофильтров.

Получение высокочистых концентратов углей и графита.

#### 5. Сырье для медицины и пищевой промышленности:

Очистка металлических и неметаллических порошков.

Выделение тонких фракций.

Очистка пищевых зерен и круп.

Очистка чая от отходов.

#### 6. Сельское хозяйство:

Отделение семян культурных растений от сорняков.

### 7. Вторичное и техногенное сырье:

- Сепарация отходов радиоэлектронной аппаратуры.
- Сепарация отходов кабельного производства.
- Очистка измельченной пластмассы от металлических частиц.
- Разделения измельченной пластмассы по сортам.
- Очистка измельченной керамики от металлических частиц.
- Разделение измельченной керамики по сортам.
- Очистка отходов шлифовального производства от металлических частиц.
- Сверхчистая очистка металлических порошков, в том числе в среде инертных газов.
- Сверхчистая очистка неметаллических порошков для электронной промышленности, в частности очистка кварца.
- Очистка измельченных отходов шин от корда (металлического и неметаллического).

### 8. Признаки разделения:

- Сепарация частиц различной электрической проводимости.
- Сепарация частиц с различными величинами трибозарядов.
- Сепарация частиц различной диэлектрической проницаемости.
- Сепарация частиц различной крупности и грансостава.
- Сепарация частиц различной формы.

### Список литературы

1. **Месеняшин А.И.** Электрическая сепарация в сильных полях – М.: Недра: 1978. – 175 с.
2. Физические основы электрической сепарации / Под ред. В. И. Ревнивцева – М., 1983. – 270 с.
3. Разработка и создание электрических сепараторов для разделения частиц с отличающейся электропроводимостью / А.И. Месеняшин, В.В. Ермаков, Л.В. Иванова и др. // Совершенствование процессов электросепарации и конструкций электросепараторов: Межвед. сб. науч. тр. "Механобр". – Л., 1987. – С. 69-77.
4. **Ревнивцев В.И., Месеняшин А.И., Ермаков В.В.** Утилизация лома и отходов электро- и радиоаппаратуры с помощью электросепараторов // Там же. – С. 121-124.
5. **Месеняшин А.И.** Электростатическая сепарация // Обогащение руд. – 1995, – № 1-2. – С. 94-98.
6. **Kremer E.B., Mesenyashin A.I.** Spherical Particle with Conductive and Dielectric Properties in Non Uniform Electric Field // Development in Applied Electrostatics: Proceeding of '97 ICAES. Shanghai. Shanghai Popular Science Press, 1997. P. 89-94.
7. **Кремер Е.Б., Месеняшин А.И.** Выражение для пондеромоторных сил, действующих на проводящий шар // Обогащение руд. – 1998. – № 3. – С. 21-24.
8. **Месеняшин А.И.** Динамика электросепарации сростков при контакте с электродом // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1985. – № 12 С. 87-92.

*Надійшло до редакції  
Рекомендовано до публікації*