

УДК 622. 7(084.2)

Е.Е. Андреев, В.Б. Кусков, Я.В. Кускова, А.Г. Цай

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ МЕЛКИХ ПЛОТНЫХ МИНЕРАЛОВ

Разработан новый гравитационно-электромагнитный комплекс, в нем на частицы одновременно воздействуют гравитационным и магнитным полями. Аппарат сочетает круглый концентрационный стол и специальный электромагнитный индуктор. Комплекс позволяет повысить извлечение плотных частиц, особенно мелких. Ключевые слова: гравитационно-электромагнитная сепарация, круглый концентрационный стол.

Известно, что со снижением крупности обогащаемых материалов их гравитационное обогащение становится малоэффективным. Это относится и к плотным минералам, особенно плоским, игольчатым и т.п. Одним из путей преодоления этого недостатка является использование центробежных полей [1]. Кроме этого, гравитационно-электромагнитный (или гравитационно-магнитный) метод разделения минералов является эффективной альтернативой традиционным методам извлечения мелких и тонких плотных минералов (золото, платина, серебро и т.п.) из различных видов руд. Не тонкое (крупное) золото, платина, серебро и другие минералы извлекаются этим методом еще эффективнее. Гравитационно-электромагнитный метод можно использовать в качестве основного обогащающего процесса и при доводке шлиховых концентратов на шлихообогащительных фабриках.

Суть метода в том, что магнетит, находящийся под воздействием импульсов бегущего электромагнитного поля, создаваемого специальным индуктором, испытывает особые вибрации со стороны поля, что приводит, в

итоге, к увеличению степени подвижности среды, в которой находятся плотные частицы. При этом вводится дополнительное воздействие на немагнитные частицы инерционно-гравитационными силами с целью уменьшения вероятности захвата этих частиц в образующиеся магнетитовые флоккулы (магнетит либо содержится в исходной руде в достаточном количестве, либо специально добавляется). Очевидно, что гравитационно-электромагнитная сепарация может быть использована только в совокупности с различными гравитационными сепараторами. Гравитационно-электромагнитный метод можно применять к различным комбинациям электромагнитных систем и сепарирующих зон (постелей) обогащающих аппаратов. Однако было установлено, что лучшим базовым гравитационным аппаратом является концентрационный стол [2].

Концентрационные столы применяются для обогащения в основном мелких классов (– 3 мм) руд олова, вольфрама, благородных, редких металлов и других полезных ископаемых. Известны неподвижные и подвижные столы. Подвижные столы бывают ленточные, круглые и качающиеся (сотрясатель-

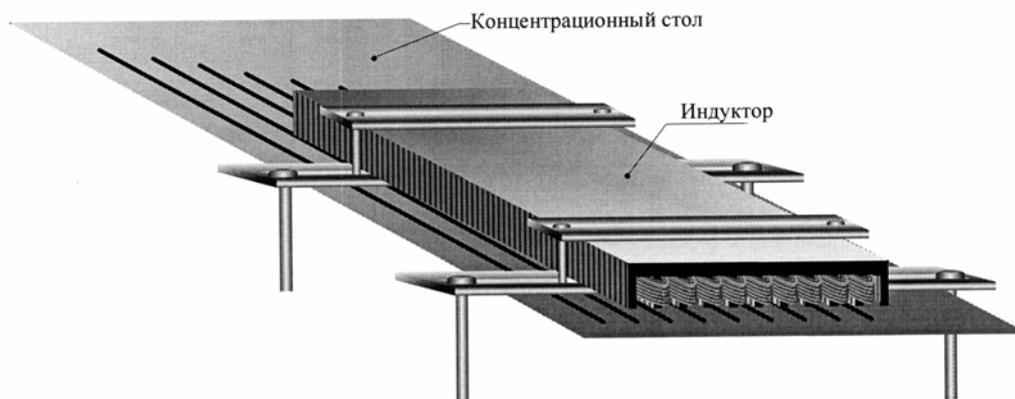


Рис. 1. Схема комплекса с качающимся концентрационным столом и трёхфазным моноиндуктором

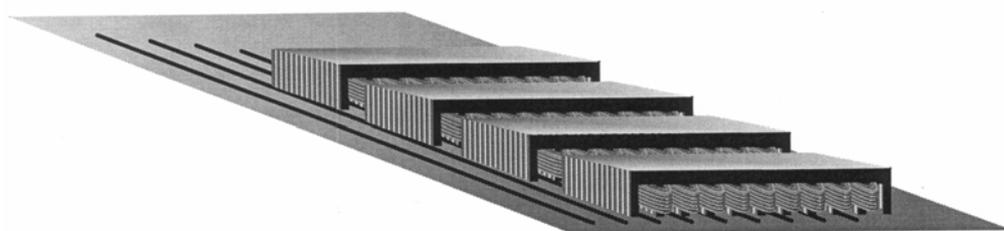


Рис. 2. Схема комплекса с качающимся концентрационным столом и трёхфазным модульным индуктором

ные). В настоящее время наибольшее распространение получили качающиеся (прямоугольные, трапециевидные, ромбовидные) столы [3—8].

Схема комплекса с таким столом и моноиндуктором, создающим бегущее магнитное поле приведена на рис. 1.

Обеспечить хорошую ремонтпригодность электромагнитного индуктора можно с помощью модульного индуктора, работающего аналогично моноиндуктору (рис. 2).

Но качающиеся (прямоугольные, трапециевидные, ромбовидные) столы плохо подходят для виброфлюктуационного комплекса, в частности, из-за большой массы (его площадь должна составлять не менее 70 — 80 % от площади поверхности стола) и низкой

ремонтпригодности необходимого для этих столов электромагнитного индуктора; трудности создания «жесткого» стопорения (противохода) деки стола, трудности оперативного регулирования работы стола и т.д.

Для устранения вышеназванных недостатков был разработан дисковый вращающийся стол с концентрическими рифлями [9]. Принцип работы стола поясняется рис. 3. Концентрационный стол имеет дисковидную деку 1, с рифлями 2 и разделен на два сектора. Каждый сектор имеет три зоны (три сектора) разгрузки продуктов разделения, имеющими разные радиусы: наименьший радиус для удельно-легкого продукта, промежуточный радиус для промпродукта, и

наибольший — для удельно-тяжелого продукта. Соответственно аппарат имеет сборные кольцевые коаксиальные желоба 3 — для удельно-тяжелого продукта (желоб имеет наибольший диаметр) 4 — для промежуточного продукта (желоб имеет промежуточный диаметр), 5 — для удельно-легкого продукта (желоб имеет наименьший диаметр). Также стол оснащен загрузочным бункером (пульподелителем) 6 с секторами для подачи исходного питания 7 и смывной воды 8 на поверхность стола.

Дисковый концентрационный стол работает следующим образом. Исходное питание из секторов 7 распределительного бункера 6 вымывается на поверхность стола в направлении 9. Из секторов 8 распределительного бункера на поверхность стола подается смывная вода в направлении 10. Дека стола совершает вращательные движения относительно ее центральной вертикальной оси. По ходу вращения (в данном случае по часовой стрелке) дека движется с меньшей скоростью и проходит больший путь, а в противоположном направлении дека движется с большей скоростью и проходит меньший путь; таким образом, воспроизводится работа традиционного (качающегося) стола. На частицу, находящуюся на поверхности стола действует сила тяжести, сила гидродинамического давления потока воды, центробежная сила, сила Кориолиса, сила трения и др. силы. Благодаря совместному действию этих сил происходит разделение частиц в основном в соответствии с их плотностью. Наиболее плотные частицы 12 смешаются в зону их разгрузки 13 на секторе с наибольшим радиусом и попадают в сборный коаксиальный желоб 3. Промежуточные по плотности частицы 14 разгружаются на секторе с промежуточным радиусом 15 и попадают в сборный коаксиальный желоб 4. Наи-

более плотные частицы 16 разгружаются на секторе с наименьшим радиусом 17 и попадают в сборный коаксиальный желоб 5.

Для повышения крутизны фронтов импульсного воздействия («жёсткости» воздействия) на поверхность стола (стопорения) для транспорта пульпы по поверхности стола применяется высокочастотный шаговый привод.

Для обычного электродвигателя постоянные импульсные стопорения и тем более реверс всегда сопровождаются переходом его в режим короткого замыкания с последующим пусковым режимом (5—6 номиналов рабочего тока). Поэтому необходимо создать фактически невозможно из-за сокращения его срока службы и перегрева обмоток ударным током короткого замыкания. Шаговый двигатель лишён такого недостатка. Более того, он предназначен для жёстких режимов импульсного питания.

При работе стола достигается следующий эффект:

- удлинение траектории и соответствующего времени осаждения плотных фракций в постели стола при неизменной площади концентрационного стола, это позволяет повысить эффективность разделения материалов по сравнению с традиционным столом;
- дополнительное воздействие центробежной силы на частицы и использование жесткого стопорения деки стола также повышает эффективность разделения материалов;
- конструкция стола обеспечивает легкость оперативного регулирования стола (в частности, таких важных параметров его работы как частота и амплитуда движений деки), например, от программируемого промышленного микроконтроллера, в отличие от традиционного стола, плохо

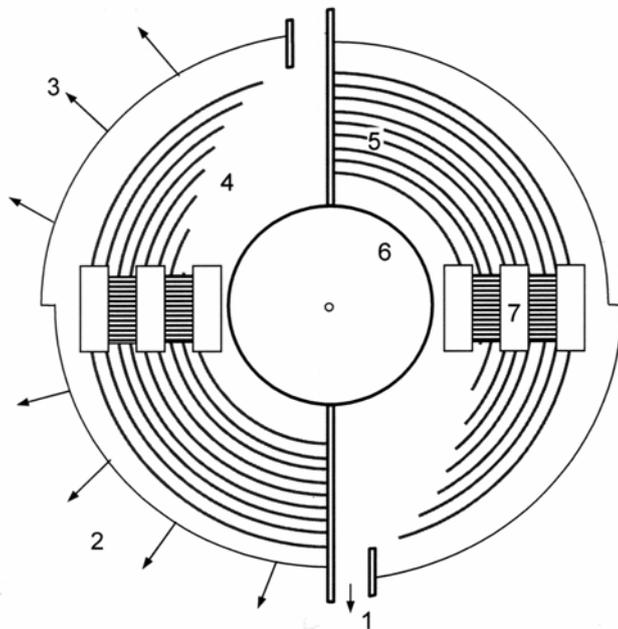


Рис. 4. Схема гравитационно-электромагнитного сепаратора. Вид сверху: 1, 2, 3 — разгрузка, соответственно концентрата, хвостов и промпродукта; 4 — дека, 5 — рифли; 6 — распределительный бункер; 7 — индуктор бегущего поля

поддающегося оперативному регулированию;

- при установке неподвижного линейного индуктора (одного или нескольких) в локальной радиально направленной зоне обеспечивается электромагнитная активизация ponderомоторных сил над всей сепарируемой поверхностью, что еще больше повышает эффективность разделения частиц;

- не обязательна коммутация электромагнитного поля, так как при круговом проходе поверхности пульпы под зоной электромагнитного поля фактически будет бегущая волна рыхления постели стола.

В экспериментальной модели предусмотрен общий приёмный зумпф с исходной пульпой, состав которой используется многократно во время

настройки работы стола. Предусмотрен ручной селективный отбор проб, по каждому выходному продукту сепарации во время проведения испытаний на обогатимость. Имеется клапанная система регулирования расходов исходной пульпы на стол и расхода смывной воды.

Тип привода — периферийный; сопряжение ведущего вала двигателя с приводным диском типа «зубчатая пара» для обеспечения долговечности (в противовес фрикционной передаче); зубчатый венец приводного диска цилиндрический; управление режимами вращения и транспортной вибрации — программируемым контроллером или комплектным блоком управления;

максимальное применение серийных комплектующих изделий для последующего тиражирования опытно-промышленных и промышленных образцов концентрационного стола.

Опытный образец концентрационного стола имеет следующие основные технические характеристики:

- производительность по питанию исходной пульпой 0,40—0,60 т/ч;
- производительность по твердому 0,12—0,2 т/ч (при Т:Ж = 0,3);
- напряжение питания приводов одно-трёхфазное 220/380 В, 50—60 Гц;
- потребляемая мощность — до 1,0 кВт;
- предусмотрен рецикл пульпы;
- габариты опытного образца: D x H = 1,2 x 1,5 м, масса 40 кг без учёта массы загруженного пульпой приёмно-рециркуляционного зумпфа.

Основные характеристики электромагнитного индуктора:

- потребляемая мощность — до 1,0 кВт;
- тип индуктора — трёхфазный линейный секционный;
- тип обмотки: трёхфазная петлевая;
- частота коммутации (при необходимости) трёхфазной обмотки 1,0 — 0,2 Гц с переменной скважностью 0,5 — 0,01;
- способ коммутации: бесконтактный на базе серийных тиристорных коммутаторов;
- напряжение питания трёхфазное ~220/380 В, частота тока возбуждения 50 Гц;
- масса индуктора — до 15 кг.
- способ управления: от схемы управления с жёсткой логикой или от

• программируемого промышленного микроконтроллера.

Основной достигаемый эффект от применения данного аппарата заключается в абсолютном приросте извлечения тяжёлых металлов в пределах 20—40 % для частиц класса — 250 мкм и 10—30 % для частиц — 100 мкм.

Схема гравитационно-электромагнитного сепаратора приведена на рис. 4.

Выводы: новая конструкция круглого вращающегося стола позволяет повысить эффективность разделения частиц. Технический комплекс, сочетающий круглый концентрационный стол и модульный электромагнитный индуктор еще больше повышает эффективность разделения (повышает извлечение) особенно мелких плотных частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданович А. В., Федотов К. В. Техника и технология гравитационного обогащения песков и тонковкрапленных руд // Горный журнал, 2007. — № 2. — С. 69—83.
2. Тихонов О.Н. Эффективное извлечение тонких тяжелых минералов из россыпных и коренных руд. Труды 19-го Международного Конгресса по обогащению полезных ископаемых. Сан-Франциско, АИМЕ, Т 17, 1994, С. 79—82.
3. Ляшенко П.В. Гравитационные методы обогащения / Учебн. для горных вузов, М., Л.: 1940, 354 с.
4. Кизевальтер Б.В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения / М.: «Недра», 1979, 295 с.
5. Верховуров М.В. Гравитационные методы обогащения: учеб. для вузов — М.: МАКС Пресс, 2006. — 352 с.
6. Блехман И.И., Вайсберг Л.А., Рудин А.Д. Круглый концентрационный стол. А.С. СССР № 564007, опубл. 05.07.77, бюл. № 25.
7. Блехман И.И., Вайсберг Л.А., Рудин А.Д. Многодочный круглый концентрационный стол. А.С. СССР № 584890, опубл. 25.12.77, бюл. № 47.
8. Барзуков О.П., Вайсберг Л.А. Круглый концентрационный стол. А.С. СССР № 721120, опубл. 15.03.80, бюл. № 10.
9. Андреев Е.Е., Кусков В.Б., Кускова Я.В., Цай А.Г. Концентрационный стол. Патент RU №2372994, опубл. 20.11.2009, бюл. № 32. 

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кусков В.Б. — кандидат технических наук, доцент, orikvb@mail.ru,

Андреев Е.Е. — кандидат технических наук, доцент, oriori@mail.ru,

Кускова Я.В. — аспирант, ledizet@rambler.ru,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,

Цай А.Г. — кандидат технических наук, генеральный директор, Tsai@vami-autom.ru, ООО «ВАМИ автоматика».