

Г.А. Епутаев, М.Г. Данилова, Б.С. Варламов

**ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ МАГНИТНЫХ
ЧАСТИЦ В ДИСКОВОМ СЕПАРАТОРЕ
ПРИ МОКРОМ ОБОГАЩЕНИИ
ЖЕЛЕЗОСодержащих МАТЕРИАЛОВ**

Представлено описание дискового магнитного сепаратора для мокрого магнитно-обогащения. Проведен расчет магнитных полей на основе теории функции комплексного переменного. Рассчитана траектория движения частицы магнетита в дисковом сепараторе.

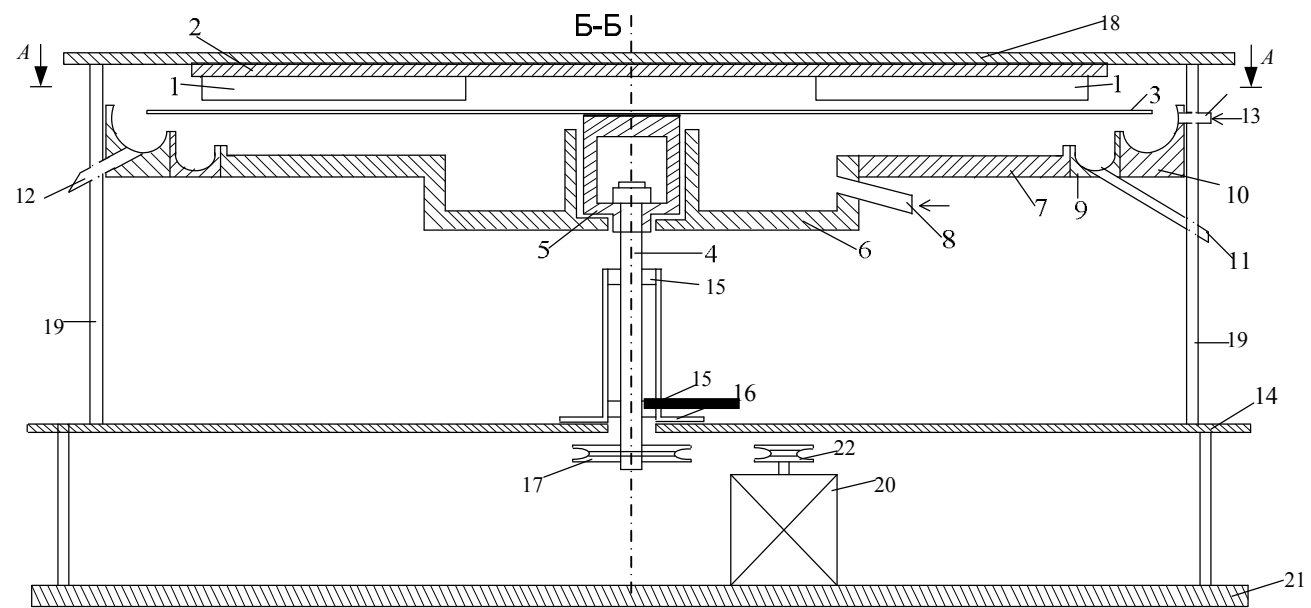
Ключевые слова: магнитный сепаратор, продукты обогащения, сростки магнетита с кварцем.

В современной практике обогащения различных материалов, в частности золотосодержащих песков, необходимо отделять магнитные компоненты с помощью компактных, недорогих, высокоэффективных и лёгких в использовании сепараторов, которые способны извлекать магнитный материал с содержанием магнетита в сростке менее 1 %.

С этой целью был разработан сепаратор мокрого типа, рабочий орган которого выполнен в виде диска из немагнитного материала. При анализе работы магнитных сепараторов двух типов: сухого [1] и разработанного нами было выявлено, что для получения золотосодержащего шлиха высокого качества наиболее эффективными являются магнитные сепараторы для мокрого обогащения.

На рис. 1 изображена принципиальная схема магнитного сепаратора для мокрого обогащения, на рис. 1(а) разрез по Б-Б на рис. 1(б) — разрез по А-А.

Магнитный центробежный сепаратор состоит из магнитной системы с неподвижными постоянными магнитами 1, расположенными по радиусам окружности магнитопровода 2 с чередованием полярностей, транспортирующего органа 3, выполненного в виде диска из немагнитного материала, установленного на валу 4 с помощью насадки 5, питателя 6 цилиндрической формы с пульпораспределительным кольцом 7 и подводящим патрубком 8, приемников продуктов разделения, выполненных



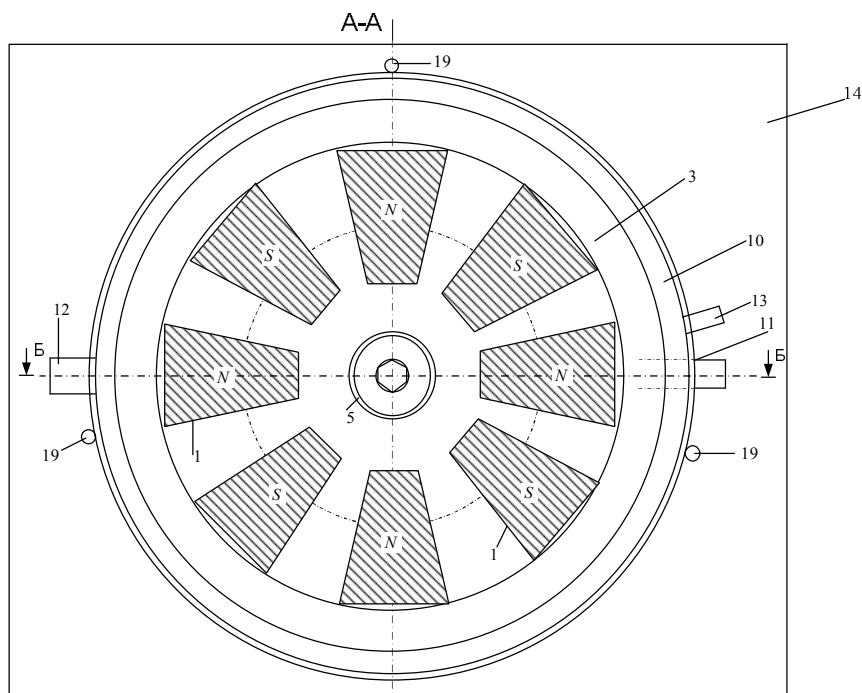


Рис. 1. Принципиальная схема магнитного сепаратора для мокрого обогащения Движение магнитных частиц происходит под действием пондеромоторных сил, которые возникают при взаимодействии магнитного поля постоянных магнитов и вектора намагниченности сепарируемых частиц

в виде концентрических желобов для немагнитной фракции 9 и магнитной фракции 10 со сливными патрубками 11, 12 и водоподводящим патрубком 13. Вал 4 закреплен на опорной плите 14 при помощи подшипников 15 и подставки 16, и снабжен шкивом 17. Магнитопровод 2 расположен на держателе 18, установленном на стойках 19. Электродвигатель 20 размещен на станине 21 и снабжен шкивом 22.

Магнитный сепаратор работает следующим образом. Пульпа поступает в питатель 6 через подводящий патрубок 8, попадает на поверхность пульпораспределительного кольца 7 и растекается тонким слоем в радиальном направлении. Электродвигатель 20 приводит во вращение транспортирующий орган 3 посредством

ременной передачи со шкивами 22 и 17, вала 4 и насадки 5. По мере продвижения пульпы магнитные частицы извлекаются из потока по всей поверхности пульпораспределительного кольца 7 под действием магнитными силами постоянных магнитов 1. Магнитные частицы прижимаются к нижней поверхности транспортирующего органа 3, образуя флоккулы, под действием центробежных сил они перемещаются в сторону больших радиусов и одновременно вращаются вокруг своей оси, делая один оборот на каждой паре полюсов постоянных магнитов 1. При этом очищаются от немагнитных частиц и сбрасываются в желоб для магнитной фракции 10, откуда смываются проточной водой, поступающей через водоподводящий патрубок 13 в сливной патрубок 12. Пульпа вместе с немагнитными частицами стекает в желоб 9 и выводится через сливной патрубок 11. При вращении флоккулы принимают новую форму и вещественный состав, а немагнитные частицы, захваченные между магнитными частицами, сбрасываются под действием гравитационных сил в процессе перехода от одного полюса постоянных магнитов 1 к другому, вследствие чего происходит многократная перемешка продукта. Транспортирующий орган 3 выполняют из немагнитного материала стойкого к механическому воздействию, например, из текстолита и устанавливают на валу 4 с помощью насадки 5, предназначенной для упрощения центровки диска и уменьшения вибрации.

Расчет магнитных полей произведен на основе теории функций комплексного переменного [2]. Исследования магнитного поля приведенной магнитной системы показали, что магнитное поле изменяется по радиусу. Изменение этого поля по окружности при любом радиусе практически не изменяются по модулю, поэтому приближенно принимаем его постоянным.

Следовательно, магнитное поле можно рассчитывать по радиусу как поле одного магнита. Такой расчет произведен в статье [3]. В этой же статье рассчитано поле пондеромоторных сил.

Магнитная индукция в рабочей зоне сепаратора рассчитана с помощью формулы [2]

$$B^*(z) = \frac{\mu_0 J}{4\pi j} \cdot \sum_{i=1}^4 K_i \cdot \left[\ln \left(\frac{z_{i+1} - z}{z_{i+1} - z_i} \right) - \ln \left(\frac{z_i - z}{z_{i+1} - z_i} \right) \right], \quad (1)$$

$$\text{где } K_i = \left[\left(1 + \frac{z_{i+1}^* - z_i^*}{z_{i+1} - z_i} \right) \cdot \cos(\psi) + j \left(\frac{z_{i+1}^* - z_i^*}{z_{i+1} - z_i} - 1 \right) \cdot \sin(\psi) \right],$$

где j — мнимая единица, $j = \sqrt{-1}$, z — комплексная координата, μ_0 — магнитная постоянная, $\vec{J}$ — вектор намагниченности, А/м, B — магнитная индукция, Тл, ψ — угол наклона вектора намагниченности к оси x , рад.

Пондеромоторные силы рассчитывались по формуле

$$\begin{aligned} \vec{F} = & \frac{1}{2} J_s \left(\frac{\partial B_x}{\partial x} \cos \gamma + \frac{\partial B_y}{\partial x} \sin \gamma \right) \vec{i} + \\ & + \frac{1}{2} J_s \left(\frac{\partial B_x}{\partial y} \cos \gamma + \frac{\partial B_y}{\partial y} \sin \gamma \right) \vec{j} \end{aligned} \quad (2)$$

где $\vec{F}$ — вектор удельной пондеромоторных силы, н/м³, γ — угол между вектором магнитной индукции и вектором намагниченности флоккулы, рад, J_s — намагниченность флоккулы, А/м.

Движение минералов определяет процесс их разделения и характеристики процесса обогащения.

Движение магнитных частиц в рассматриваемом сепараторе трехмерное и описывается следующей системой дифференциальных уравнений

$$m \frac{d^2 \vec{S}}{dt^2} + \eta \frac{d\vec{S}}{dt} - V(\vec{F}_M + \vec{F}_A + \vec{F}_O + \vec{F}_D) = 0 \quad (3)$$

где J — момент инерции частицы, кг/м², η — приведенная вязкость среды с учетом формы и размеров частицы, V — объем час-

тицы, м³, m — масса частицы, кг, t — время, с, $\vec{S} = (x, z, y)$ — радиус-вектор, определяющий положение частицы в принятой системе координат, $\vec{F}_M$ - удельная пондеромоторная сила, н/м³, $\vec{F}_A$ — удельная сила Архимеда, н/м³, $\vec{F}_O$ - удельная центробежная сила, н/м³, F_T - удельная сила тяжести частицы, н/м³.

Траектория движения магнитной частицы представлена в виде четырех участков, результаты расчета которой представлены на рис. 2.

Принято, что при растекании пульпы магнитные частицы перемещаются по радиусу пульпораспределительного кольца, а он совпадает с осью x . При расчете движения одной частицы на участке 1 движение происходит в системе координат x, y и описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} + \eta \frac{dx}{dt} - V(F_{Mx} + F_{Ox}) &= 0, & \frac{dx}{dt} &= v_x, \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} + \eta \frac{dy}{dt} - V(F_{My} + F_{Ay} + F_{Ty}) &= 0, & \frac{dy}{dt} &= v_y \end{aligned} \quad (4)$$

На участке 2 движение магнитосодержащих частиц происходит в воздушной среде и также описывается системой уравнений (4). В ней сила Архимеда $\vec{F}_A = 0$, а приведенная вязкость среды η равна этой величине для воздуха.

Участок траектории 3 начинается с момента времени, когда частица достигает диска и в движении относительно диска перемещается по его радиусу. Диск вращается со скоростью n (об/с), следовательно, абсолютное движение происходит в системе координат x, z и описывается системой уравнений

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} + \eta \frac{dx}{dt} - V(F_{Mx} + F_{Ox} + F_{Ox}) &= 0, & \frac{dx}{dt} &= v_x, \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} + \eta \frac{dz}{dt} - V(F_{Mz} + F_{Oz} + F_{Oz}) &= 0, & \frac{dz}{dt} &= v_z, \end{aligned} \quad (5)$$

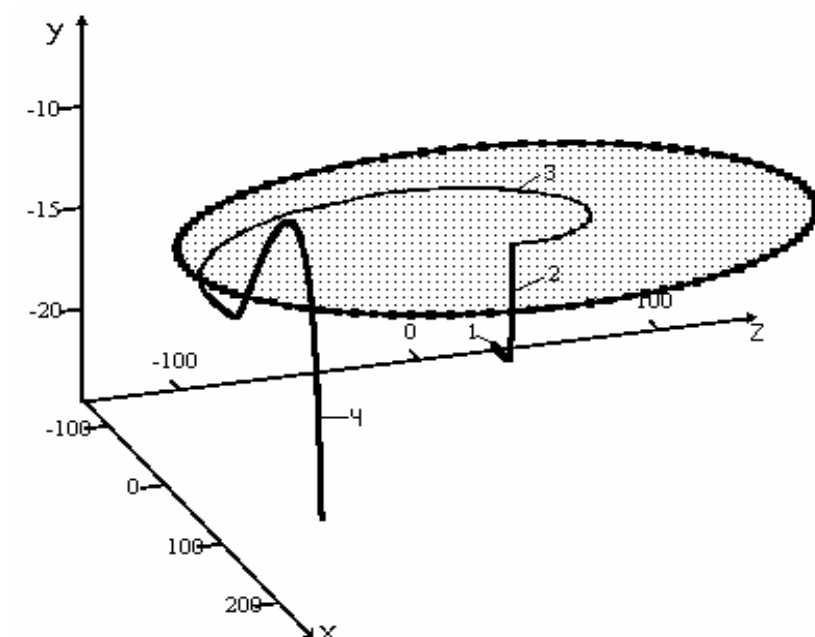


Рис. 2. Траектория движения частицы магнетита в дисковом сепараторе

где η — приведенный коэффициент вязкости воздуха.

На участке траектории 4, когда частица при перемещении по диску достигала его внешнего края, происходило ее трехмерное движение в воздухе, которое описывается уравнением (3) при $\vec{F}_A = 0$ и $\vec{F}_O = 0$.

Для проведения экспериментальных исследований был спроектирован и изготовлен дисковый сепаратор на постоянных магнитах, с магнитной индукцией в центре поверхности магнита 0,25 Тс, для мокрого обогащения железосодержащих продуктов с воздушным зазором между обогащенной пульпой и диском ($d = 27$ мм).

Траектория движения магнитосодержащих частиц рассчитана при расстоянии между поверхностью магнитов и обогащаемой пульпой $h = 25$ мм с приведенным диаметром магнетитовой частицы 200 мкм, при частоте вращения диска $n = 1400$ (мин⁻¹). Максимально возможная производительность по пульпе $Q = 3.75$ л/мин.

Испытания сепаратора производились на смесях продуктов обогащения после первой стадии на обогатительной фабрике Лебединского ГОКа и измельченного кварца в различных пропорциях. Химический анализ продуктов обогащения показал, что при данных параметрах обогащения получен концентрат магнетита, содержащий 64—68 % железа, который является товарным продуктом.

Также проведены эксперименты по максимальному извлечению сростков магнетита с кварцем. Для этого магнитная система была максимально приближена к диску. Расстояние между поверхностью магнитов и обогащаемой пульпой составляло $h=15\text{ мм}$. Пульпа пропусклась через сепаратор дважды. В результате в твердых продуктах пульпы содержание железа не превысило 1 %. Таким образом, предварительно можно утверждать, что для уменьшения содержания железа в этих продуктах необходимо устанавливать более сильные магниты.

Выводы

1. Разработана конструкция, изготовлен и испытан новый дисковый сепаратор на постоянных магнитах для мокрого обогащения железосодержащих продуктов с воздушным зазором между обогащаемой пульпой и диском.
2. Аналитически описаны трехмерные траектории частиц содержащих магнетит.
3. Расчеты траекторий намагнитосодержащих частиц и практические исследования показали, что с помощью изменения расстояния между магнитной системой и диском можно извлекать из пульпы от практически чистого магнетита до сростков, содержащих малое количество железа. Для уменьшения содержания железа в хвостах необходимо устанавливать более сильные магниты. Анализ продуктов обогащения с помощью микроскопа показал, что в них отсутствуют немагнитные частицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожарский Ю.М., Епутаев Г.А. Сепаратор для извлечения золота из магнитных концентратов Труды СКГТУ, выпуск 8, 2001.
2. Епутаев Г.А. Основы аналитической теории взаимодействия минералов с полем сепаратора на постоянных магнитах. — Владикавказ, РИА, 1999.

3. Пожарский Ю.М., Ивакин В.Ф., Епутаев Г.А. Магнитная индукция и поле сил в сепараторах с радиальными постоянными магнитами. / Сб. трудов аспирантов. — Владикавказ: Терек. 2001. **ГИАБ**

Yeputaev G.A., Danilova M.G., Varlamov B.S.

MOTION PASS OF MAGNETIC PARTICLES IN THE DISK SEPARATOR AT WET ENRICHMENT OF FERRUGINOUS MATERIALS

The disc magnetic separator for the moist magnetic enrichment was described. The magnetic fields calculation on the basis of the complex altitude function the ore was conducted. The trajectory of the magnetite particle movement in the disc separator was calculated.

Key words: magnetic separator, enrichment products, joints of magnetite with quartz.

Коротко об авторах

Епутаев Г.А. — доктор технических наук, профессор. Северо-Кавказского горно-металлургического института, skgtu@skgtu.ru

Данилова М.Г. — кандидат технических наук, доцент Старооскольского технологического института (филиал) Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный институт стали и сплавов (технологический университет)»,

Варламов Б.С. — аспирант Северо-Кавказского горно-металлургического института, skgtu@skgtu.ru

