

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЧАСТИЦ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ МАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА

Асп. *Подковыров И. Ю.*,

канд. техн. наук *Солоденко А. А.*

Кафедра обогащения полезных ископаемых,
Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)

Выполнен теоретический анализ вибрационного перемещения минеральных частиц в магнитном поле. Составлены и решены дифференциальные уравнения движения частиц в режиме скольжения, а также с отрывом от вибрирующей плоскости. Построена скоростная диаграмма движения частиц. Результаты расчёта учтены при разработке магнитного сепаратора тарельного типа.

При разработке магнитных сепараторов важно иметь чёткое представление о характере перемещения разделяемых частиц. Рассмотрим случай перемещения частиц в магнитном поле по дну вибрационного лотка при условиях: угол наклона лотка α , град (60); амплитуда колебаний A , м – (0,0005); частота колебаний n , 1/мин – (1200); сила магнитного поля $5 \cdot 10^{11}$ А/м³; диаметр частиц d_t , м – (0,001); коэффициент трения скольжения $f_{ТС}$ – (0,5); коэффициент трения покоя, $f_{ТП}$ – (0,7). Вибролоток совершает относительно неподвижной системы координат $\xi\eta$ колебания под углом α (рис.1) по синусоидальному закону, то есть $\xi = A \sin \omega t$.

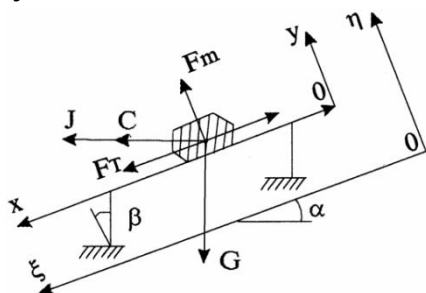


Рис.1. К расчету движения частиц.

Тогда система дифференциальных уравнений движения частиц массой m относительно неподвижной системы координат XOY в общем случае имеет вид:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = J_x + F_T + C_x + G_x, \\ m\ddot{y} = J_y + N \pm G_y + F_M. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $J = m \ddot{\xi} = m A \omega^2 \sin \omega t$ – момент инерции частицы; $F_T = f_t N$ – сила трения частицы о дно лотка; N – реакция нормального давления; $C = 3\pi d \mu A \omega = 0,3 \cdot 10^{-3}$ – сопротивление среды движению частицы, Н; $G = V (\rho_t - \rho)$ – вес частицы в жидкости;

$F_M = f_M V = 2 \cdot 10^{-5}$ магнитная сила, Н; $m = V \rho_t$ – масса частицы, кг;

$V = \frac{\pi d^3}{6} = 0,5 \cdot 10^{-9}$ объем частицы, м³; $\omega = \frac{\pi n}{30} = 126$ – угловая скорость. Тогда:

$$\begin{cases} m \ddot{x} = m A \omega^2 \sin \omega t \cos \beta \mp f_t N \mp C \cos \beta + G \sin \alpha, \\ m \ddot{y} = m A \omega^2 \sin \omega t \sin \beta + N \mp C \sin \beta - G \cos \alpha + f_M V. \end{cases} \quad (2)$$

Верхние знаки в уравнениях относятся к движению частиц вперед и вверх, нижние – назад и вниз. Движение частиц по дну вибrolотка может быть двух видов – безотрывным и с подбрасыванием. Условием отрыва частиц от дна является $N < 0$, что обеспечивается, если

$$\frac{G \cos \alpha + C \sin \beta - f_M V}{m A \omega^2 \sin \beta} = z_0 < \sin \omega t \quad \text{или} \quad z_0 < 1. \quad (3)$$

Для тяжёлых частиц ($\rho_t > 7000$ кг/м³) это условие не выполняется, так как $Z_0 = 1,3$. Эти частицы будут скользить по дну лотка. Минералы плотностью < 5500 кг/м³ будут "подпрыгивать", так как для этих частиц $Z_0 = 0,52$. Уравнения "полета" частиц ($y > 0$) можно составить из системы (2) при $FT = N = 0$:

Таким образом, интервалы отрыва частиц характеризуются условием $Z_0 > 0,52$, интервалы скольжения ограничиваются величиной параметра z : $Z_0 + = 0,17$; $Z_1 - = -0,45$; $Z_+ = 0,09$; $Z_- = -0,37$.

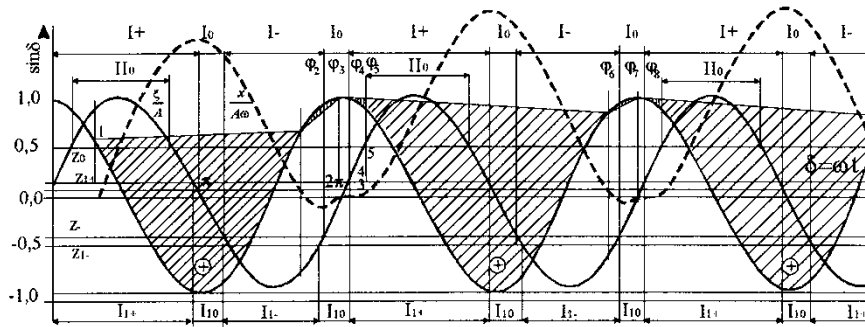


Рис. 2. Скоростная диаграмма перемещения частиц по дну вибрирующего лотка.

Рассмотрим движение частицы, попавшей на дно вибrolотка при $\varphi = 1$. Данный угол относится к интервалу Π , на котором частица сразу же отрывается от дна кюветы. Для определения перемещения частицы относительно дна за период "полета" выпишем интегралы уравнений системы (2), полученные при начальных условиях: $x(t'_0) = 0$; $\dot{x}(t'_0) = x'_0$, где x'_0 – скорость частицы в момент отрыва $t = t'_0$.

$$\dot{x}(t) = \frac{1}{m} (G \sin \alpha \mp C \cos \beta)(t - t'_0) - A \omega \cos \beta (\cos \omega t - \cos \omega t'_0) + x'_0 ; \quad (4)$$

$$x(t) = \frac{1}{2m} (G \sin \alpha \mp C \cos \beta)(t - t'_0)^2 - A \cos \beta (\sin \omega t - \sin \omega t'_0) + A \omega \cos \beta \cos \omega t'_0 (t - t'_0) + x'_0 (t - t'_0); \quad (5)$$

$$\dot{y}(t) = -\frac{1}{m} (G \cos \alpha - f_M V \pm C \sin \beta)(t - t'_0) - A \omega \sin \beta (\cos \omega t - \cos \omega t'_0) + y'_0 ; \quad (6)$$

$$\ddot{y}(t) = -\frac{1}{2m} (G \cos \alpha - f_M V \pm C \sin \beta)(t - t'_0)^2 - A \sin \beta (\sin \omega t - \sin \omega t'_0) + A \omega (t - t'_0) \sin \beta \cos \omega t'_0 + \dot{y}_0 (t - t'_0). \quad (7)$$

Эти формулы справедливы до момента (t_n) падения частицы на дно. Момент или угол падения (φ_n) можно найти из уравнения (7), приравняв к нулю его правую часть и введя обозначения: $b = \frac{\varphi_0}{A \omega \sin \beta}$; $\omega t_0 = \delta_0$; $\omega t_n = \varphi_n$. В результате получим :

$$\frac{1}{2} z_0^* (\varphi_{II} - \delta'_0)^2 + (\sin \varphi_{II} - \sin \delta') - (\varphi_{II} - \delta'_0)(\cos \delta'_0 + b) = 0; \quad (8)$$

Здесь z_0^* определяется по формуле (3). Для уравнения (8) имеет смысл воспользоваться готовыми решениями [3], представленными в виде семейства кривых $\varphi_{II} = f(\delta_0; \delta'_0)$. В рассматриваемом примере имеем: $\delta_0 = \delta_0^* = \arcsin z_0^* = 0,38$; $\delta'_0 = \varphi_1 = 1$, тогда $\varphi_{II}(\delta_0^*, \delta'_0) = \varphi_0 = 5,54 = 2,4 + \pi(136^\circ + \pi)$.

Падение частицы приходится на интервал обратного скольжения (I_{1-}), на котором частица начинает двигаться до остановки на интервале J_{10} в некоторой точке "3". Относительный покой частицы будет до начала интервала I_{1+} , то есть до угла φ_3 , с которого начнется ее прямое скольжение. Скорость прямого скольжения:

$$x(t_0) = \frac{A \omega \cos(\beta - E)}{\cos E} [-z_+ (\delta_0 - \delta') - (\cos \delta_0 - \cos \delta')] = 0,008 \text{ м/сек} . \quad (9)$$

Здесь $\delta_0 = \varphi_5 = \arcsin Z_0 = 0,55$, $\delta'_0 = \varphi_5 = \arcsin Z_0 = 0,55$; $\delta' = \varphi_0 = \arcsin Z_{i+} = 0,17$;

Далее определим скорость частицы в конце полета, то есть в точке падения "6". В этом случае x определяется из уравнения (6) после перехода от времени к углам и с учетом, что продольная составляющая скорости до удара \dot{x}_{II} и после удара \dot{x}'_{II} связаны соотношением: $x'_{II} = x(1 - \lambda)$, где $\lambda = 0,5$ – коэффициент мгновенного трения при ударе.

Тогда

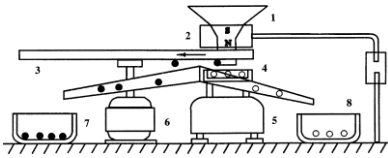
$$\dot{x}'_{II6} = A \omega (1 - \lambda) \left[\frac{G \sin \alpha - \cos \beta}{m A \omega^2 \cos \beta} (\varphi_{II} - \delta') - \cos \varphi_{II} - \cos \delta'_0 \right] \times \cos \beta + (1 - \lambda) x'_0 = +12 \cdot 10^{-4} \text{ м/сек} .$$

Здесь $\varphi_{II} = \varphi_6 = 11,9$ определено при $\delta_0 = \delta_0^* = 0,38$ и $\delta'_0 = \varphi_5 = 0,55$.

Таким образом, движение частицы средней плотности в одном цикле колебаний состоит из прямого скольжения с нулевой начальной скоростью, "полета" с начальной скоростью 8 мм/с и обратного скольжения с начальной скоростью 1,2 мм/с.

С использованием вышеприведенных формул рассчитан путь, который проходят на каждом из этих этапов частицы магнетита (удельная восприимчивость $2 \text{ м}^3/\text{кг}$), ильменита ($1 \text{ м}^3/\text{кг}$), пирита ($0,1 \text{ м}^3/\text{кг}$) и кварца ($0,01 \text{ м}^3/\text{кг}$). Плотность минералов 4500; 4800,5000 и 2600 $\text{кг}/\text{м}^3$ соответственно. Сопротивление среды при этом не учитывалось. В результате установлено: ильменит пирит и кварц перемещаются со скоростью 0,046; 0,041; 0,033 м/сек соответственно. При этом ильменит движется с подпрыгиванием, пирит и кварц – безотрывно, магнетит отрывается от дна вибрлотка безвозвратно.

Полученные данные были учтены при разработке магнитного сепаратора для обогащения сухих зернистых минеральных продуктов. При этом за основу был взят принцип прямоточных магнитных сепараторов с нижним питанием, работающих на извлечение магнитных частиц из тонкого однослойного или слабокипящего потока. Подающим устройством принят вибрлоток, который обеспечивает плавную регулировку нагрузки и перемещения частиц в рабочей зоне сепаратора. На рисунке показана схема и общий вид сепаратора.



Тарельный магнитный сепаратор.

Сепаратор состоит из приемного бункера 1, постоянного магнита 2, вращающейся тарели 3, лотка 4, электромагнитного вибратора 5, электромотора 6, приемников продуктов сепарации 7, 8.

Принцип действия магнитного сепаратора состоит в следующем. Навеску материала загружают в приемный бункер. Тарель вращается, а лоток совершает возвратно-поступательные колебания. Сепарируемый материал под действием вибрации движется по дну лотка. В зоне расположения магнита сильномагнитные частицы под воздействием магнитного поля отрываются от вибrolотка и прилипают к нижней поверхности тарели. Нарифления тарели обеспечивают вынос прилипших частиц из зоны действия магнитного поля и разгрузку их в приемник. Слабо- и немагнитные частицы, перемещаясь по вибrolотку, в конце разгружаются в приемник или направляются в бункер исходного питания следующей технологической операции.

В зависимости от вещественного состава исходного сырья оптимизацию режима магнитной сепарации осуществляют изменением параметров магнитного поля в рабочей зоне и интенсивности колебаний вибrolотка. Это обеспечивается изменением расстояния между магнитом и лотком, а также величиной тока в катушках электромагнитного вибратора по результатам визуального наблюдения за процессом сепарации или анализа продуктов сепарации.

Отличием схемы магнитного сепаратора от известных конструкций состоит в неподвижной установке магнитов над тарелью и лотком. Это повышает вероятность извлечения магнитных частиц из потока при колебаниях нагрузки. Эксплуатация созданных аппаратов подтвердила их эффективность и правильность выполненных расчётов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кармазин В. Н., Кармазин В. Н. Магнитные методы обогащения. М.: Недра, 1988. 305 с.
2. Блехман И. И., Джанелидзе Г. Ю. Вибрационное перемещение. М.: Наука, 1964. 410 с.
3. Епутаев Г. А., Солоденко А. Б. Движение минералов в магнитножидкостных сепараторах //Труды СКГТУ. 1999. С. 25-29.