

Е.А. БЕРЕЗНЯК,

И.К. МЛАДЕЦКИЙ, д-р техн. наук

А.А. БЕРЕЗНЯК, канд. техн. наук

(Украина, Днепр, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»)

ВЫБОР ЧАСТОТЫ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ЧАСТИЦ В ПУЛЬПЕ

Размагничивание магнетитсодержащих частиц в пульповом потоке должно осуществляться в переменном магнитном поле высокой частоты. Для промышленного применения размагничивающего аппарата необходимо создать переменное магнитное поле напряженностью более 100 кА/м в объеме более 10 дм³. Такие условия являются довольно жесткими для работы электронной аппаратуры, поэтому цена устройства при увеличении частоты возрастает в параболической зависимости. Таким образом, требуется выбрать одну частоту, которая бы соответствовала параметрам потока пульпы оптимально. В соответствии с этой частотой все частицы крупнее средней и с содержанием ценного минерала больше исходного будут подвергнуты размагничиванию. Для того, чтобы размагничивать более тонкие и бедные частицы, необходимо выполнить коммутатор, который бы переключал в контуре конденсаторы. В настоящее время такие коммутаторы являются бесконтактными, но емкости должны быть высоковольтными и, соответственно, их размеры значительны. Кроме того, напряжение более 1000В требует дополнительной защиты и особых условий эксплуатации устройств. Они должны устанавливаться в специальных помещениях. Поэтому размагничиватели с большим диапазоном размагничивающих частот должны иметь батареи конденсаторов, дополнительные защитные помещения, что нецелесообразно для конкретной технологической точки обогащательной технологии. Таким образом, размагничиватель должен быть настроен на одну частоту. В то же время катушка питается также высоким напряжением, поэтому она также должна быть помещена в особые условия, ограничивающие доступ обслуживающего персонала.

В обогащательной практике нашли применение две основные функции, характеризующие сырье, поступающее в технологические аппараты – это гранулометрический состав – распределение по крупности $F(d)$ и распределение по фракционному составу $F(\alpha)$. Фракционный состав (для магнетитовых руд) может быть выражен распределением по плотности частиц или раскрытием по содержанию в частицах ценного минерала, поскольку плотность частиц зависит от соотношения в ней ценного и неценного минералов.

Таким образом, пульпа представляет собой случайную совокупность частиц различного размера и магнитной восприимчивости. Поэтому для выбора частоты размагничивания необходимо ориентироваться на наиболее вероятные значения – моду распределения.

Тонкоизмельченные частицы имеют распределение, близкое к распределению Пуассона:

$$f(d) = \frac{1}{\bar{d}} \cdot \exp\left(-\frac{d}{\bar{d}}\right).$$

Здесь \bar{d} – параметр распределения – средняя крупность помола.

В обогащательной практике пользуются эквивалентом средней крупности – понятием «содержание характерного класса крупности», т.е. $P_{\bar{d}_{\text{кл}}}$. Этот параметр легко определяется рассевом на одном сите, в отличие от средней крупности, которая требует наличия набора сит. В расчетах будем пользоваться математическим понятием средней крупности.

Раскрытие ценного минерала довольно сложно зависит от средней крупности помола, и еще от двух параметров – среднего содержания ценного минерала – $\alpha_{\text{и}}$; и средней вкрапленности его в руде – $d_{\text{БК}}$. С помощью этих трех параметров находим требуемые показатели раскрытия.

При измельчении раскрываются вкрапления ценного минерала, размер которого $d_{\text{БК}}$, и содержание ценного минерала в измельчаемом материале $\alpha_{\text{и}} \leq 0,65$. В противном случае рудная фаза становится сплошной, а нерудная – вкрапленной, и тогда имеет смысл говорить о раскрытии нерудной фазы. Показатели раскрытия следующие:

– содержание открытых рудных зерен ($\alpha = 1$):

$$P_{\text{рз}} = \alpha_{\text{и}} \cdot \int_0^{d_{\text{БК}}} \left(1 - \frac{d}{d_{\text{БК}}}\right) \cdot f(d) \partial d;$$

– содержание открытых нерудных зерен ($\alpha = 0$):

$$P_{\text{нз}} = (1 - \alpha_{\text{и}}) \cdot \int_0^{r_{\text{БК}}} \left(1 - \frac{d}{r_{\text{БК}}}\right) \cdot f(d) \partial d;$$

$$r_{\text{БК}} = 1,4 \cdot d_{\text{БК}} \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_{\text{и}}}} - 1 \right);$$

$$r_{\text{БК}} + d_{\text{БК}} = L_{\text{БК}}.$$

Затем по этим параметрам и $\alpha_{\text{и}}$ строится график распределения сrostков (рис. 1).

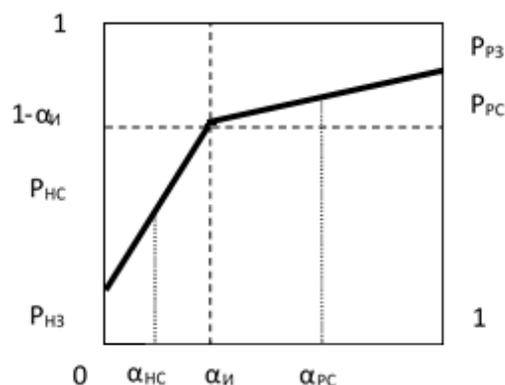


Рис. 1. Функция распределения сорок после измельчения

Можно и аналитически определить дополнительные параметры раскрытия:

– содержание бедных сорок ($\alpha_{И} > \alpha_{НС} > 0$):

$$P_{НС} = (1 - \alpha_{И}) \cdot \left(\int_0^{r_{БК}} \frac{d}{r_{БК}} \cdot f(d) \partial d + \int_{r_{БК}}^{10L_{БК}} f(d) \partial d \right);$$

$$\alpha_{НС} = \frac{\alpha_{И}}{2};$$

– содержание богатых сорок ($\alpha_{И} < \alpha_{РС} < 1$):

$$P_{РС} = \alpha_{И} \cdot \left(\int_0^{d_{БК}} \frac{d}{d_{БК}} \cdot f(d) \partial d + \int_{r_{БК}}^{10L_{БК}} f(d) \partial d \right) + \int_{10L_{БК}}^{\infty} f(d) \partial d;$$

$$\alpha_{РС} = \frac{1 + \alpha_{И}}{2}.$$

Итак, располагаем главными функциями обогащительных технологий: функцией распределения по крупности $F(d)$ и функцией фракционного состава $F(\alpha)$. Известно, что содержание ценного минерала в частицах зависит от их размера – чем больше размер частиц, тем содержание все более приближается к исходному содержанию в месторождении (рис. 2). В работе [1] приведены функции, связывающие размер частиц d с предельным содержанием в них ценного минерала α , если известны текстурно-структурные признаки руды, содержание ценного минерала и функция распределения по крупности. Эти зависимости имеют вид:

– для максимального значения:

$$\alpha_{max} = \left(\frac{n \cdot d_{BK} + \Delta d}{n \cdot L_{BK} + \Delta d} \right)^3, 0 < \Delta d < d_{BK} \quad (1)$$

– для мінімального значення:

$$\alpha_{min} = \left(\frac{n \cdot d_{BK}}{n \cdot L_{BK} + \Delta d} \right)^3, 0 < \Delta d < r_{BK} \quad (2)$$

где n – количество измерений (целых) L_{BK} , укладываемых в поперечнике частицы, при известных значениях крупности частиц $d_{кр}$ соответственно $n = \frac{d_{кр}}{L_{BK}}$.

Примем диапазон изменения размеров частиц $\Delta d = d_{BK}$ для поиска α_{max} и $\Delta d = r_{BK}$ – для поиска α_{min} . Преобразовав выражения (1) и (2), получим:

$$\alpha_{min} = \left(\frac{n}{(n+1) \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_n}} - 1 \right)} \right)^3, \alpha_{max} = \left(\frac{n+1}{n \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_n}} - 1 \right)} \right)^3.$$

Исследование зависимости частоты размагничивания частиц $\omega_p(\alpha/d)$ от крупности d и содержания магнетита в сродках α , показало, что это двумерная, монотонно убывающая по обоим координатам нелинейная функция. Нелинейность ярче выражена по крупности частиц, и более пологая по содержанию ценного компонента. Таким образом, полагаем, что функция $\omega_p(\alpha/d)$ определена, и если имеются значения d и α , то им всегда можем поставить в соответствие $\omega_p(\alpha/d)$.

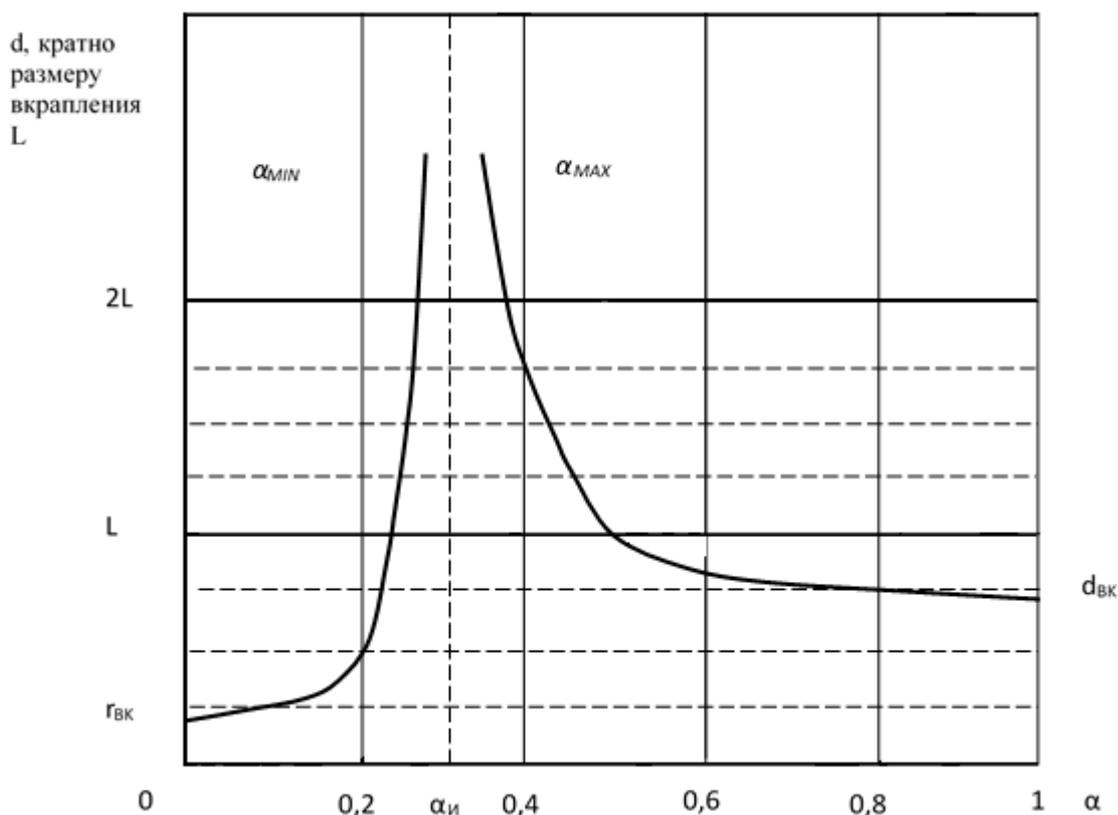


Рис. 2. Кривые предельных значений содержания ценного минерала в частицах заданного класса

Однако, необходимо определить единственное значение частоты размагничивания по интегральным характеристикам крупности и содержания ценного минерала.

Это можно выполнить путем нахождения средневзвешенного значения частоты размагничивания. На рис. 3 – 6 представлены графики распределения частиц по содержанию в них ценного минерала для различной крупности. Графики построены в соответствии с тем, что содержание ценного минерала в сростке и его размер имеют функциональную связь.

Первоначально преобразуем функции распределения по крупности и содержанию ценного минерала в функции частот размагничивания:

$$F(\alpha_i/d_j) \rightarrow \omega_p(\alpha_i/d_j).$$

И определяем среднюю частоту размагничивания класса крупности с заданным содержанием ценного минерала.

Сначала определяем среднее значение частоты размагничивания в классах крупности d_j :

$$\omega_p(d_j) = \sum_i \omega_p(\alpha_i/d_j) \cdot \Delta F(\alpha_i/d_j).$$

Затем производим усреднение по крупности:

$$\omega_p = \sum_j \omega_p(d_j) \cdot \Delta F(d_j).$$

Имеем частоту размагничивания для пульпы с известными свойствами.

Функции распределения сродков строились для таких условий: интервал от 0 до L_{BK} был разбит на 4 части, т.е. $\Delta d = 0,064$ мм. Исходные данные: $d_{BK} = 0,192$ мм, $\alpha_{и} = 0,35$ (объемное содержание), средняя крупность мола $\bar{d} = 0,1$ мм, $r_{BK} = 0,064$ мм и $L_{BK} = 0,256$ мм.

Итак, при $n = 0$ функция распределения сродков после измельчения, для класса $0 < d < r_{BK}$ приведена на рис. 3.

$$r_{BK} < d < 2r_{BK}; \quad \alpha_{max} = \left(\frac{d}{d}\right)^3 = 1; \quad \alpha_{min} = \left(\frac{d-r_{BK}}{d}\right)^3 \text{ (рис. 4).}$$

$$2r_{BK} < d < d_{BK} \quad \alpha_{max} = \left(\frac{d}{d}\right)^3 = 1 \quad \alpha_{min} = \left(\frac{d-r_{BK}}{d}\right)^3 \text{ (рис. 5).}$$

$$d_{BK} < d < L_{BK} \quad \alpha_{max} = \left(\frac{d_{BK}}{d}\right)^3 \quad \alpha_{min} = \left(\frac{d-r_{BK}}{d}\right)^3 \text{ (рис. 6).}$$

Функция распределения сродков после измельчения для $n > 1$ приведена на рис. 7.

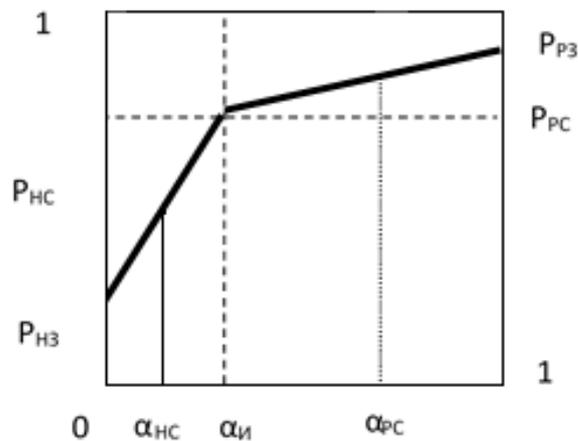


Рис. 3. Функция распределения сродков для диапазона крупности $0 < d < r_{BK}$

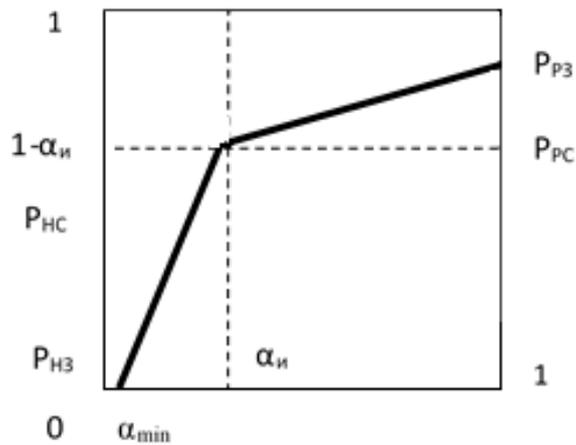


Рис. 4. Функція розподілення сродков для діапазона крупности $r_{BK} < d < 2r_{BK}$

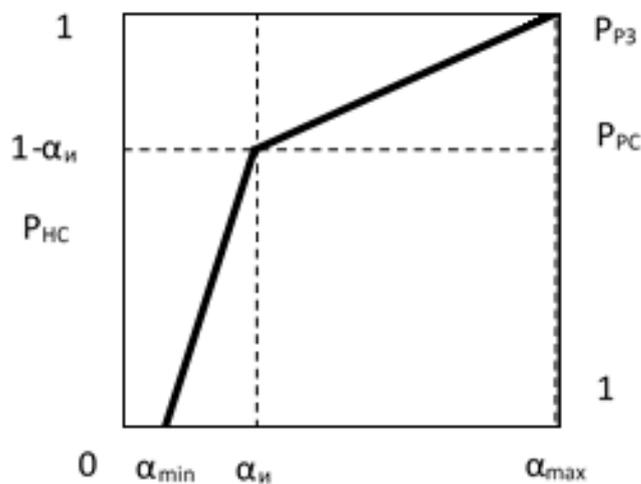


Рис. 5. Функція розподілення сродков для діапазона крупности $2r_{BK} < d < d_{BK}$

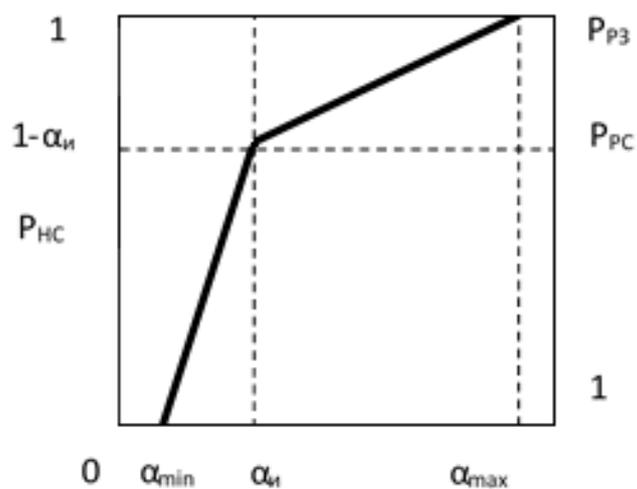


Рис. 6. Функція розподілення сродков для діапазона крупности $d_{BK} < d < L_{BK}$

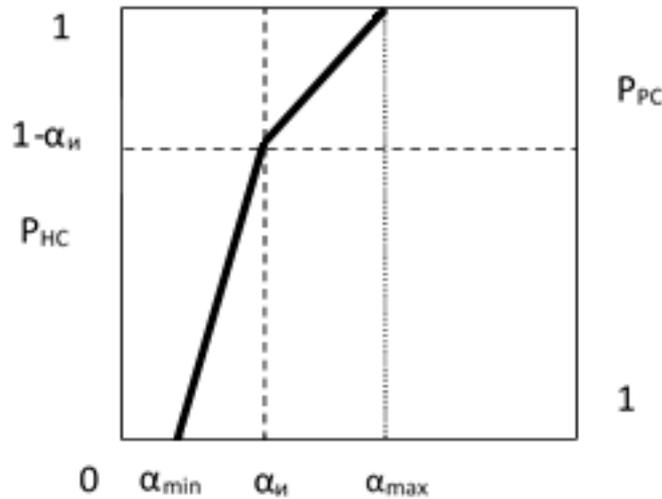


Рис. 7. Функція розподілення сороктов для крупності $d_{BK} > L_{BK}$

После этого не имеет смысла дробить отрезки L_{BK} , так как везде далее будут только сорокты.

Результаты вычислений сведены в табл. 1

Таблица 1

Результаты вычислений частоты размагничивания

Размер частиц, мм	0,064	0,13	0,2	0,25	0,512
Распределение, доли ед.	0,94	0,27	0,136	0,08	0,007
Приращение, доли ед.	0,06	0,67	0,136	0,056	0,073
P_{pz} , доли ед.	0,15	0,1	0	0	0
α	1	1	0	0	0
ω , кГц	30	20	0	0	0
P_{pc} , доли ед.	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35
α	0,67	0,65	0,65	0,5	0,43
ω , кГц	50	30	10	8	7
P_{nc} , доли ед.	0,50	0,67	0,65	0,65	0,65
α	0,17	0,22	0,24	0,3	0,33
ω , кГц	100	50	8	5	3

Из таблицы следует, что необходимая частота размагничивания увеличивается с уменьшением размера частиц и содержания магнетита. Если посчитать «средневзвешенное» значение частоты, то получим:

$$(0,15 \cdot 30 + 0,25 \cdot 50 + 0,5 \cdot 100) \cdot 0,06 + (0,1 \cdot 20 + 0,25 \cdot 30 + 0,65 \cdot 50) \cdot 0,67 + \\ + (0,35 \cdot 3 + 0,65 \cdot 10) \cdot 0,136 + (0,35 \cdot 2 + 0,65 \cdot 7) \cdot 0,056 = 33,45 \text{ кГц}$$

При такой частоте размагнитится основная масса частиц, останутся неразмагнитенными частицы магнетита крупностью менее 20 мкм. Аналитически

Магнітна і електрична сепарація

определить степень размагничивания не представляется возможным вследствие спонтанного намагничивания магнетита при контакте с намагниченными частицами. Этот вопрос требует дополнительных исследований.

Список литературы

1. Младецкий И.К. Основы прогнозирования выходных показателей разделения флокулирующих материалов при мокрой магнитной сепарации: Дис. ... д-ра техн. наук. – Д.: ДГИ 1992. – 292 с.

© Березняк Е.А., Младецкий И.К., Березняк А.А., 2019

Надійшла до редколегії 01.03.2019 р.

Рекомендовано до публікації к.т.н. К.А. Левченком