

РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ УГЛЯ И ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ПОРОГИ РАЗДЕЛЕНИЯ

Смирнов А.И., кан.тех.наук., доцент,
Донецкий национальный технический университет

Исследована зависимость порогов разделения угля и породы на радиометрических сепараторах по естественной радиоактивности.

The dependence of thresholds of separation of coal and breed on radio-metric separators on natural radioactivity is investigated.

Рассматривая весь перечень физико-химических характеристик угля и вмещающих боковых пород можно сделать заключение о том, что наиболее информативными признаками, различающими уголь и породу являются зольность и плотность угольных и породных пачек.

Если принять зольность чистых угольных пачек разной 10% абс, а зольность зерен породы 90% абс, соответственно кажущуюся плотность угля равной $1,25 \text{ г/см}^3$ и кажущуюся плотность пород равной $2,5 \text{ г/см}^3$, то зерна породы и угля различаются по зольности в 9 раз, по плотности в 2 раза, а по золоедицам (плотность пропорциональна массе зерен) в 18 раз. Все известные физико-химические характеристики угля и пород, например, электрические магнитные свойства, механические и оптические характеристики и др. не различаются в такой мере как зольность и плотность угля и породы.

Наиболее совершенными способами измерения зольности и плотности угля являются радиометрические методы.

Поэтому в последние годы в Украине и за рубежом определенное распространение получили радиометрические методы обогащения минерального сырья. Еще ранее в конце 40-х годов разработан и получил распространение как основной радиометрический метод обогащения урановых руд.

Сущность радиометрических методов обогащения состоит в том, что куски материала определенного класса крупности, выделенные грохочением, разделяются в покусковые ручейки из отдельных зерен, а распознавание зерен угля и породы производится по взаимодействию ионизирующего излучения с кусками материала.

Получили распространение радиометрические методы обогащения радиоактивных руд (когда куски материала являются источниками излучения) и нерадиоактивных руд, когда требуются внешние искусственные источники излучения.

Уголь с этой точки зрения можно рассматривать двойко как нерадиоактивный и как радиоактивный материал, так как вмещающие породы угольных пластов содержат микропримеси естественно-радиоактивных элементов. В любом случае схема измерения следующая в непосредственной близости от кусков движущегося материала устанавливается детектор (приемник) излучения, с помощью которого при прохождении материала регистрируется либо излучение от кусков, либо излучение от кусков после их взаимодействия с искусственными источниками излучения. Уровень сигнала на детекторе, при прохождении куска угля при сепарации, например ослабленного гамма – излучения значительно выше, чем уровень сигнала при прохождении зерен породы. Уровень сигнала измеряется числом электрических импульсов, поступающих с детектора излучения в единицу времени (скорость счета детекторов, сек^{-1}).

При этом вследствие статистических флюктуаций потока излучения изменений геометрических размеров отдельных зерен, их кажущейся плотности и зольности скорости счета, соответствующие зернам угля и породы со средними значениями физико-химических характеристик представляют пересекающиеся распределения (см. рис. 1).

Будем полагать, что скорости счета детектора излучения Π_n и Π_y – соответствующие средним уровням сигнала от зерен породы и угля, распределены по нормальному закону, причем среднее значение количества импульсов, регистрируемое за время прохождения отдельного куска равно дисперсии этого числа импульсов. При $\Pi > \Pi_0$ материал будем направлять в концентрат, при $\Pi < \Pi_0$ – в хвосты.

Будем рассматривать следующую модель: пусть в исходном материале содержится N_y зерен угля и N_n зерен породы, геометрические размеры которых равны между собой.

В результате радиометрической сепарации в концентрате содержится N_{yk} зерен угля и N_{nk} зерен породы; в хвостах содержится N_{nt} зерен породы и N_{yt} зерен угля.

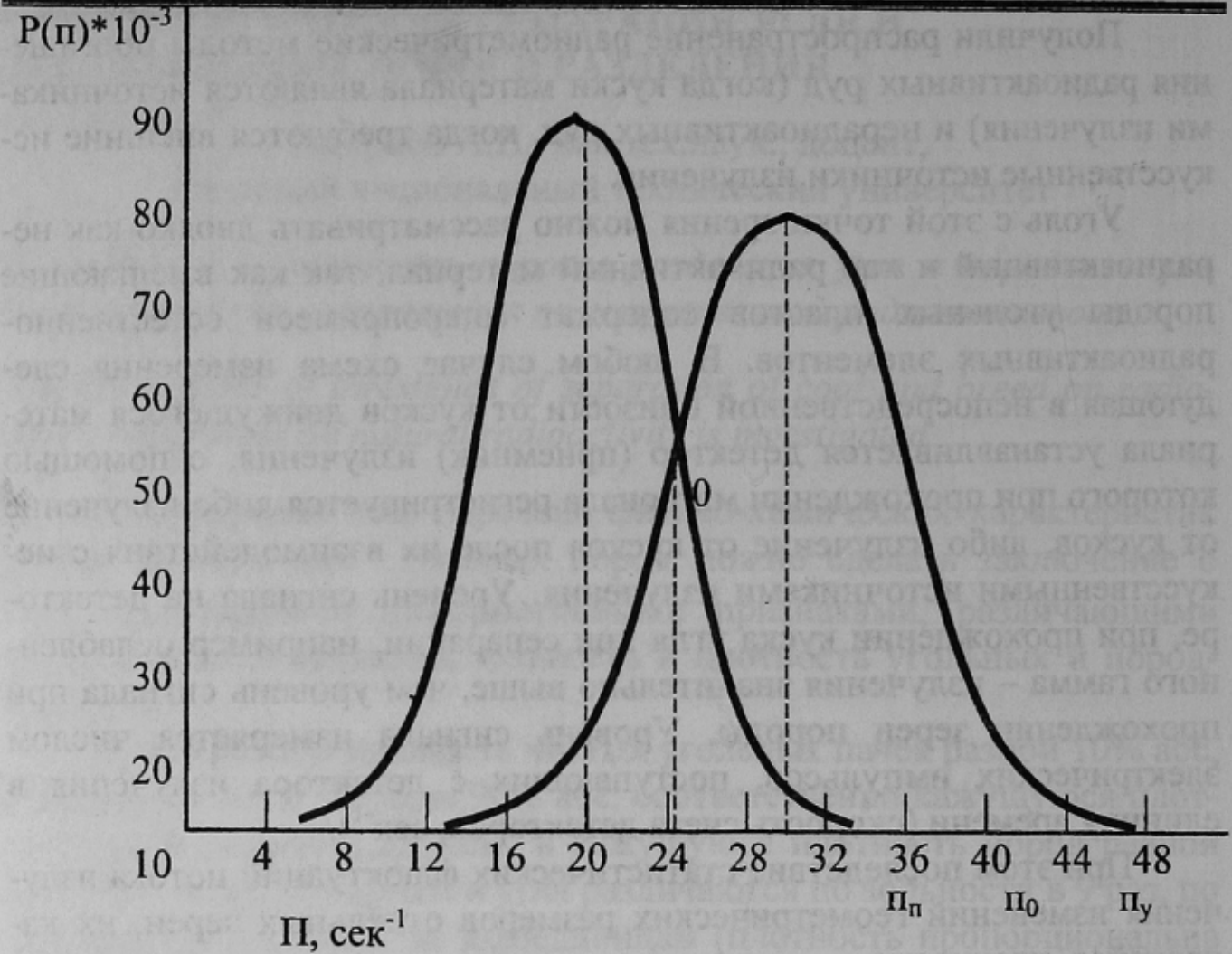


Рисунок 1

Тогда извлечение концентрата составит $E_k = N_{yk} / N_y$; выход концентрата $\gamma_k = (N_{yk} + N_{нк}) / (N_y + N_n)$ при содержании полезного компонента в исходной горной массе $\alpha_k = N_y / (N_y + N_n)$; извлечение породы в хвосты $E_n = N_{nn} / N_n$; выход породы $\gamma_n = (N_{nn} + N_{yn}) / (N_y + N_n)$; содержание породы в исходной горной массе $\alpha_n = N_n / (N_y + N_n)$.

Определим эффективность обогащения.

$$E_0 = \frac{E_k - \gamma_k}{1 - \alpha_k}$$

Плотности распределения скоростей счета детектора излучения, соответствующие поступления зерен угля и породы на контроль при абсорбционном методе сепарации.

После несложных преобразований получим

$$E_0 = \frac{N_{yk} N_n - N_{нк} N_y}{N_y N_n}$$

На рисунке 1 изображены плотности распределения скоростей счета от зерен угля и зерен породы. Очевидно, что при выборе радиометрического порога Π_0 близкого к величине Π_n из исходного материала будет извлекаться почти весь уголь, однако засорение концентрата будет весьма велико. При выборе Π_0 близким к Π_y , концентрат практически не будет содержать зерен породы, однако потери концентрата в хвостах будут весьма велики ($\approx 0,5N_y$).

Поэтому существуют оптимальные в определенном смысле радиометрические пороги разделения.

Определим оптимальный порог разделения в смысле максимальной эффективности обогащения.

Для этого получим значение величин $N_{ук}, N_{нк}$ (см. рис. 1)

$$N_{ук} = N_y \int_{n_0}^{\infty} P(n) dn$$

$$N_{нк} = N_n \int_{n_0}^{\infty} P(n) dn$$

Для удобства вычисления введем замену переменных

$$Z = \frac{n - n_0}{\sigma_n}$$

$$N_{ук} = N_y [0,5 + \Phi(Z_1)]$$

$$N_{нк} = N_n [0,5 - \Phi(Z_2)]$$

Тогда

где $\Phi(Z) = \sqrt{2\pi} \int_0^z \exp(-\frac{Z^2}{2}) dZ$ – нормированная функция Лапласа.

$$Z_1 = \frac{n_y - n_0}{\sigma_{ny}}, Z_2 = \frac{n_0 - n_n}{\sigma_{nn}}$$

Подставляя получим

$$E_0 = \Phi(Z_1) + \Phi(Z_2)$$

Производная общей эффективности обогащения E_0 по величине радиометрического порога разделения обращается в нуль при следующем значении n_0 .

$$n_0 = (n_n \cdot n_y) \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{n_n - n_y} \frac{1}{T} \ln \frac{n_n}{n_y} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Введем отношение сигналов, регистрируемых детектором, при поступлении на контроль соответственно зерен угля и породы

$$K = \frac{n_y}{n_n}$$

и назовем эту величину отношением сигналов разделения.

При $K \rightarrow \infty$ разделение зерен угля и породы будет полным при любом пороге $n_n \ll n_0 \ll n_y$, а эффективность обогащения составит 100%. При $K \rightarrow 1, n_n = n_y = n$ радиометрическое обогащение невозможно. При $n_0 \ll n$ весь исходный материал поступает в концентрат; при $n_0 \gg n$ весь исходный материал уходит в хвосты. При $n_0 = n$ 50% угля содержится в породе и наоборот, т.е. после «обогащения» содержание концентратов в концентрате и в хвостах такое же как и в исходном материале.

Оптимальный порог разделения перепишем в следующем виде

$$n_0 = n_n K^{\frac{1}{2}} \left[1 - \frac{1}{T(K-1)n_n} \ln \frac{1}{K} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Выбор оптимального порога разделения по максимуму эффективности обогащения целесообразен при приблизительно одинаковом содержании угля и породы в исходной горной массе.

В случае, когда $\alpha_k \ll \alpha_n$ (углевыборка) и $\alpha_k \gg \alpha_n$ (породовыборка) даже при большей эффективности обогащения потери извлекаемого продукта могут быть велики. Пусть извлечение концентрата при породовыборке весьма высокое и составляет 98% при содержании полезного компонента в исходном 90%, тогда потери концентрата составят $2\% \cdot 0,9 = 1,8\%$ от исходного, что экономически невыгодно. В этом случае необходимо выбрать такой порог разделения при котором минимизируются потери угля в хвостах, т. е. отношение

$$\frac{N_{yn}}{N_n}$$

Поэтому для этих случаев будем искать оптимальный порог разделения из условия минимального засорения продуктов обогащения, который зависит от отношения сигналов разделения, времени измерения (распознавания) отдельных зерен материала, уровня измеряемых сигналов и отношения числа зерен породы к числу зерен угля в исходном.