Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LI, вып. 3, 1970 г.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ДРОБЛЕНЫХ ЧАСТИЦ НА ТРИ ФРАКЦИИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ГРАНИЧНОГО УДЕЛЬНОГО ВЕСА РАЗДЕЛЯЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

Б. М. Звягин

Разработанная теория раскрытия минералов [3, 4] позволяет рассчитать все основные параметры обогатительного процесса для получения продуктов заданного качества, если технологические методы полностью реализуют эффект заданной глубины дробления. В действительности же качественно-количественные показатели существующих процессов углеобогащения значительно отличаются от теоретических. Объясняется это недостаточно четким разделением частиц с близкими удельными весами и невозможностью надежного обогащения мелких классов угля. Поэтому важно правильно выбрать демаркационный удельный вес, при котором обогащение будет оптимальным. Большинство углей, в частности, Донецкого бассейна, обычно обогащаются по удельному весу 1,5, однако в некоторых концентратах содержание золы и серы остается все же высоким.

Главным загрязнителем концентрата является в основном фракция 1,4—1,5, сернистость и зольность которой часто превышают содержание золы и серы в исходном угле. Поэтому в ряде случаев неясно, нужно ли обогащать уголь по удельному весу 1,5 или по 1,4. Снижать удельный вес нецелесообразно, так как при этом сокращаются ресурсы углей для нужд коксования и значительно снижается производительность фабрик. Этот вопрос можно решить расчетным путем.

Выбор удельного веса разделения зависит от соотношения

показателей фракции 1,4—1,5 и исходного угля. Поэтому, чтобы рассчитать выход и состав намеченной к удалению фракции, необходимо предварительно решить более общую задачу разделения мелкораздробленных угольных частиц на три фракции.

Допустим, что недробленый уголь объемом V и объемным содержанием примеси y дробится, причем дробление мелкое. Степень измельчения характеризуется параметром $k=\frac{\alpha}{\beta}$ (α и β — средние размеры, соответственно, включения и дробленой частицы). В случае мелкого дробления $k>1$. Дробленые частицы поместим в жидкость с удельным весом δ_1. Всплывут частицы, объемный состав примеси в которых не превышает

$$X_1=\frac{\delta_1-\delta_y}{\delta-\delta_y},$$

где δ, δ_y — удельный вес, соответственно, примеси и угля.

Обозначив объем концентрата V_1 и объем хвостов V_2, получим

$$V_1+V_2=V.$$

Обозначим далее объемный выход концентрата W_1, а хвостов W_2. Тогда

$$W_1=\frac{V_1}{V};\ W_2=\frac{V_2}{V};\ W_1+W_2=1. \qquad (1)$$

W_1 и W_2 можно вычислить по формулам

$$W_1=W_1(X_1),$$
$$W_2=W_2(X_1).$$

Уравнение баланса по примеси запишется

$$x_1W_1+x_2W_2=y, \qquad (2)$$

где x_1, x_2 — соответственно, объемные содержания примеси в концентрате и хвостах.

Затем концентрат объемом V_1 поместим в жидкость с удельным весом $\delta_2(\delta_2<\delta_1)$. При этом обогащении всплывут частицы, объемный состав примеси в которых не превышает

$$X_2=\frac{\delta_2-\delta_y}{\delta-\delta_y}.$$

Баланс объемов при этом разделении

$$V_1 = V_3 + V_4,$$

где V_3 и V_4 — соответственно, объем концентрата и хвостов.

Обозначим объемные выходы концентрата и хвостов при втором обогащении W_3 и W_4. Тогда

$$W_3 = \frac{V_3}{V_1};\ W_4 = \frac{V_4}{V_1};\ W_3 + W_4 = 1. \qquad (3)$$

Если принять, что W_5 и W_6 — соответственно, объемные выходы концентрата и хвостов по отношению к исходному углю, то

$$W_5 = \frac{V_3}{V};\ W_6 = \frac{V_4}{V}.$$

Уравнение баланса по примеси при втором обогащении имеет вид

$$x_3 W_3 + x_4 W_4 = x_1. \qquad (4)$$

Учитывая формулы (1) и (3), после преобразований получим

$$W_5 = \frac{V_3}{V} = \frac{V_3}{V_1}\frac{V_1}{V} = W_3 W_1, \qquad (5)$$

$$W_6 = \frac{V_4}{V} = \frac{V_4}{V_1}\frac{V_1}{V} = W_4 W_1. \qquad (6)$$

В результате двух обогащений получаются три фракции: 1) концентрат с объемным выходом W_5 и объемным составом x_3; 2) хвосты с объемным выходом W_2 и объемным составом x_2; 3) промежуточная фракция с объемным выходом W_6 и объемным составом x_4.

Докажем, что $W_5 + W_2 + W_6 = 1$. Действительно,

$$W_5 + W_2 + W_6 = W_3 W_1 + W_2 + W_4 W_1 = (W_3 + W_4) W_1 + W_2 = W_1 + W_2 = 1.$$

Найдем уравнение баланса по примеси при двух обогащениях. Из уравнений (2) и (4) с учетом формул (5) и (6) получим

$$x_3 W_5 + x_2 W_2 + x_4 W_6 = y. \qquad (7)$$

Вычислим объемные выходы и составы трех фракций. Объемные выходы концентрата $W_5=W_5(X_2)$ и хвостов $W_2=W_2(X_1)$ определяются по формулам общей теории [3, 4]. Объемный выход промежуточной фракции

$$W_6 = W_2(X_2) - W_2(X_1). \tag{8}$$

Объемный состав концентрата $x_3=x_3(X_2)$, так как первое обогащение не влияет на выход и состав концентрата; объемный состав хвостов $x_2=x_2(X_1)$. Объемный состав промежуточной фракции найдем из уравнения баланса (7)

$$x_4 = \frac{x_2(X_2)\,W_2(X_2) - x_2(X_1)\,W_2(X_1)}{W_2(X_2) - W_2(X_1)}. \tag{9}$$

Содержание примеси в промежуточной фракции больше, чем в исходном угле, при

$$\frac{x_2(X_2)\,W_2(X_2) - x_2(X_1)\,W_2(X_1)}{W_2(X_2) - W_2(X_1)} > y$$

или

$$\frac{W_2(X_2)}{W_2(X_1)} > \frac{x_2(X_1) - y}{x_2(X_2) - y}. \tag{10}$$

Решив неравенство (10), найдем те объемные доли включений в исходном угле, для которых $x_4>y$.

Проанализируем целесообразность изменения граничного удельного веса разделяющей жидкости. Пусть исходный уголь, содержащий один тип включений, мелко раздроблен и обогащен в жидкости того или иного удельного веса. Содержание золы во фракции $1{,}4<\delta<1{,}5$ может быть больше или меньше, чем в исходном угле [1, 2]. Когда содержание примеси во фракции 1,4—1,5 больше, чем в исходном угле, а дополнительное дробление этой фракции не дает достаточного эффекта или практически нереально, целесообразнее обогащать уголь по удельному весу 1,4.

Чтобы судить о качестве фракции 1,4—1,5, необходимо условно разделить дробленый уголь на три фракции: 1) концентрат $\delta<1{,}4$; 2) промежуточную фракцию $1{,}4<\delta<1{,}5$; 3) хвосты $\delta>1{,}5$. При этом можно использовать формулы общей теории дробления [3, 4].

Если уголь содержит одну примесь, то после разделения

его на три фракции получим концентрат, объемный выход которого

$$W_5 = e^{-y\left(\frac{k+1}{k}\right)^3} I_0\left(2\sqrt{\frac{2y(3k^2+1)}{k^3}X_2}\right), \qquad (11)$$

где I_0 — функция Бесселя нулевого порядка от мнимого аргумента.

Объемный выход хвостов

$$W_2 = 1 - e^{-y\left(\frac{k+1}{k}\right)^3} I_0\left(2\sqrt{\frac{2y(3k^2+1)}{k^3}X_1}\right); \qquad (12)$$

промежуточной фракции

$$W_6 = e^{-y\left(\frac{k+1}{k}\right)^3}\left[I_0\left(2\sqrt{\frac{2y(3k^2+1)}{k^3}X_1}\right) - I_0\left(2\sqrt{\frac{2y(3k^2+1)}{k^3}X_2}\right)\right]; \qquad (13)$$

объемный состав концентрата

$$x_3 = x_3(X_2) = X_2\frac{I_2\left(2\sqrt{\frac{2y(3k^2+1)}{k^3}X_2}\right)}{I_0\left(2\sqrt{\frac{2y(3k^2+1)}{k^3}X_2}\right)}, \qquad (14)$$

где I_2 — функция Бесселя второго порядка от мнимого аргумента.

Объемный состав хвостов

$$x_2 = x_2(X_1) = \frac{y - W_5(X_1)\,x_3(X_1)}{1 - W_5(X_1)} = \frac{y - X_1 e^{-y\left(\frac{k+1}{k}\right)^3} I_2\left(2\sqrt{\frac{2y(3k^2+1)}{k^3}X_1}\right)}{1 - e^{-y\left(\frac{k+1}{k}\right)^3} I_0\left(2\sqrt{\frac{2y(3k^2+1)}{k^3}X_1}\right)}. \qquad (15)$$

Объемный состав промежуточной фракции, согласно формуле (9),

$$x_4 = \frac{X_2 I_2\left(2\sqrt{\frac{2y(3k^2+1)}{k^3}X_1}\right) - X_2 I_2\left(2\sqrt{\frac{2y(3k^2+1)}{k^3}X_2}\right)}{I_0\left(2\sqrt{\frac{2y(3k^2+1)}{k^3}X_1}\right) - I_0\left(2\sqrt{\frac{2y(3k^2+1)}{k^3}X_2}\right)}. \qquad (16)$$

Если вместо степени измельчения k ввести параметр $u^0 = \frac{k-1}{k+1}$, получим выражения для объемных выходов всех трех фракций

$$W_5 = e^{-\frac{8y}{(1+u_0)^3}} I_0\left(4\sqrt{\frac{2y(1-u_0^3)}{(1+u_0)^3}X_2}\right), \tag{17}$$

$$W_2 = 1 - e^{-\frac{8y}{(1+u_0)^3}} I_0\left(4\sqrt{\frac{2y(1-u_0^3)}{(1+u_0)^3}X_1}\right), \tag{18}$$

$$W_6 = e^{-\frac{8y}{(1+u_0)^3}}\left[I_0\left(4\sqrt{\frac{2y(1-u_0^3)}{(1+u_0)^3}X_1}\right) - I_0\left(4\sqrt{\frac{2y(1-u_0^3)}{(1+u_0)^3}X_2}\right)\right]; \tag{19}$$

для объемных составов

$$x_3 = X_2 \frac{I_2\left(4\sqrt{\frac{2y(1-u_0^3)}{(1+u_0)^3}X_2}\right)}{I_0\left(4\sqrt{\frac{2y(1-u_0^3)}{(1+u_0)^3}X_2}\right)}, \tag{20}$$

$$x_2 = \frac{y - X_1 e^{-\frac{8y}{(1+u_0)^3}} I_2\left(4\sqrt{\frac{2y(1-u_0^3)}{(1+u_0)^3}X_1}\right)}{1 - e^{-\frac{8y}{(1+u_0)^3}} I_0\left(4\sqrt{\frac{2y(1-u_0^3)}{(1+u_0)^3}X_1}\right)}, \tag{21}$$

$$x_4 = \frac{X_1 I_2\left(4\sqrt{\frac{2y(1-u_0^3)}{(1+u_0)^3}X_1}\right) - X_2 I_2\left(4\sqrt{\frac{2y(1-u_0^3)}{(1+u_0)^3}X_2}\right)}{I_0\left(4\sqrt{\frac{2y(1-u_0^3)}{(1+u_0)^3}X_1}\right) - I_0\left(4\sqrt{\frac{2y(1-u^{03})}{(1+u_0)^3}X_2}\right)}. \tag{22}$$

Вопрос о целесообразности изменения граничного удельного веса разделяющей жидкости решается сопоставлением объемного содержания примеси в промежуточной фракции, вычисленного по формуле (22), с содержанием ее в исходном угле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геолого-химическая карта Донецкого бассейна. Вып. 2, ОНТИ, Харьков, 1937.

2. Геолого-химическая карта Донецкого бассейна. Вып. 3, ОНТИ, Харьков, 1939.

3. Звягин Б. М. Общая теория и методы расчета результатов дробления горных пород и их последующего гравитационного обогащения. Зап. ЛГИ, т. XXXVI, вып. 3, 1958.

4. Звягин Б. М. Расчет вероятных показателей обогащения углей. Зап. ЛГИ, т. XXXVII, вып. 3, 1961.