

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЗЕРЕН УГЛЯ ПО УРАВНЕНИЯМ СУММАРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУПНОСТИ

Доли объема, занимаемые каждой фазой гетерогенной смеси для частиц угля в форме кубов, пластин, игл, параллелепипедов, пирамид, позволяют определить истинную плотность частиц рядового угля марки Д. Используя суммарную характеристику крупности, учитывая зольность и формы выделенных частиц угля, получен объем для гетерогенной водоугольной суспензии на 16 % меньше объема кубических зерен, рассчитанного по старой методике.

Volume shares taken by every phase of the heterogeneous mixture for coal particles in the shape of cubes, plates, needles, bricks and pyramids allow defining true density of mark D bank coal. Using the fineness all-up, taking into account the ash content and the forms of the extruded coal particles, we obtained the volume for heterogeneous water-coal suspension 16 % less than the cubic grains volume, calculated by the old method.

Ситовый состав углей можно представить в виде кривых характеристик крупности, например, в виде суммарной кумулятивной характеристики крупности по плюсу или по минусу.

Исследованиям, направленным на отыскание закономерностей измельчения горных пород, посвящены работы А.О.Гейтса, А.М.Годена, С.Е.Андреева, П.Розина, Е.Рамлера, Л.К.Лахтина, Д.Г.Беннета, Д.Свенсона, Е.З.Позина, В.З.Меламеда, А.М.Хесина, В.А.Олевского, Р.Шумана, П.С.Роллера, Н.К.Белоглазова, А.М.Погосова, Д.Джилвари, Л.Г.Остина, Д.Ивенса, Н.К.Разумовского, А.И.Колмогорова, А.Ф.Филиппова, Б.А.Землякова и др.

Большинство предложенных уравнений характеристик крупности твердых полезных ископаемых не базировались на теоретических положениях, вскрывающих сущность процесса разрушения частиц разной крупности, а устанавливались как характеристики гранулометрического состава мономинеральных руд, при этом форма твердых частиц принималась в виде куба для всех классов или шаров [1].

С целью установления формы частиц угля, измельченного шаровой мельницей, валковой дробилкой, дезинтегратором и щековой дробилкой под микроскопом МИСС-11 производились измерения их высоты, ширины и объема, на основе чего были выделены пластины, параллелепипеды, кубы, иглы и пирамиды [5].

Процентное содержание твердых частиц различной формы перед транспортированием по трубопроводу в рядовом угле марки Д, а также максимальные и минимальные значения частиц угля разной формы и эквивалентные диаметры в рядовом угле марки Д приведены в работе [5] (табл.1).

Высококонцентрированные водоугольные суспензии и режимы их движения необходимо рассматривать, как гетерогенные или неоднородные смеси [6] с введением новых моделей и новых параметров, в частности, последовательно учитывающих неоднородность, различное поведение фаз и взаимодействие фаз между собой.

В гетерогенной смеси каждая фаза занимает лишь часть объема смеси

$$W^{\text{сб}} + W^{\text{п}} + W^{\text{и}} + W^{\text{а}} + W^{\text{д}} = W^{\Sigma} \quad (1)$$

Таблица 1

Зависимость доли объема частиц угля от их формы

Форма частиц угля	Объем тела $W \cdot 10^{-3}$ , мм <sup>3</sup>			Эквивалентный диаметр $d_3 \cdot 10^{-1}$ , мм	$\alpha_i$
	Формула	Максимальный	Минимальный		
Кубы	$W^{\text{ёоá}} = h_0^3$	150	48	6,38	$\alpha^{\text{ёоá}} = 0,02$
Пластины	$W^{\text{ѳѳ}} = h_1 k_1 l_1$	103,4	74,8	5,92	$\alpha^{\text{ѳѳ}} = 0,34$
Параллелепипеды	$W^{\text{ѳáð}} = h_2 k_2 l_2$	111	76,5	5,96	$\alpha^{\text{ѳáð}} = 0,42$
Иглы	$W^{\text{ѳáѳ}} = h_3 k_3 l_3$	104,6	54	5,95	$\alpha^{\text{ѳáѳ}} = 0,1$
Пирамиды	$W^{\text{ѳѳð}} = \frac{1}{3} F_0^4 h_4$	38	19	4,18	$\alpha^{\text{ѳѳð}} = 0,12$
Шары	$W^{\text{о}} = \frac{\pi d_0^3}{6}$	—	—	$d_0 = \sqrt{\frac{6W^{\text{о}}}{\pi}}$	—

в отличие от гомогенной смеси, где каждая компонента рассматривается, как занимающая весь объем смеси равноправно с другими компонентами

$$W^{\text{ёоá}} = W^{\text{ѳѳ}} = W^{\text{ѳáð}} = W^{\text{ѳáѳ}} = W^{\text{ѳѳð}}. \quad (2)$$

В теории гетерогенных смесей необходимо использовать величины  $\alpha_i (i = 1, \dots, m)$ , характеризующие доли объема, занимаемые каждой фазой:

$$\alpha^{\text{ёоá}} + \alpha^{\text{ѳѳ}} + \alpha^{\text{ѳáð}} + \alpha^{\text{ѳáѳ}} + \alpha^{\text{ѳѳð}} = 1 \quad (3)$$

и таким образом помимо, например, плотности  $\rho_i$ , определяются истинные плотности веществ фаз (масса  $i$ -й фазы в единице объема  $i$ -й фазы):

$$\rho_i^0 = \frac{\rho_i}{\alpha_i}. \quad (4)$$

В табл.1 приведены значения  $\alpha_i$  для частиц рядового угля марки Д.

Если известно уравнение суммарной характеристики крупности, то общий ход вычислений числа зерен может быть принят следующий [1].

Пусть уравнение характеристики по минусу будет

$$Y^- = f(x),$$

где  $Y^-$  – выход зерен меньше диаметра  $x$ , см.

Тогда  $dY^- = f(x)dx$  – выход элементарного класса крупности от  $x$  до  $x + dx$ .

В 1 г материала плотностью  $\rho^y$  объем элементарного класса

$$\frac{dY^-}{\rho^{\text{о}}} = \frac{f'(x)dx}{\rho^{\text{о}}}. \quad (5)$$

Для одного зерна кубической формы объем  $W^{\text{ёоá}} = x^3$ , для одного зерна в форме пластин  $k_1 = x$ ,  $h_1 = x - \Delta$ ,  $l_1 = x - 2\Delta$ , для одного зерна в форме параллелепипеда  $W^{\text{ѳáð}} = 2x^3$ , для одного зерна в форме игл  $W^{\text{ѳáѳ}} = 4x^3$ , для пирамид  $W^{\text{ѳѳð}} = \frac{1}{3}x^3$ .

Учитывая зависимости (1) и (4), получим:

$$W^{\Sigma} = \alpha^{\text{ёоá}} W^{\text{ёоá}} + \alpha^{\text{ѳѳ}} W^{\text{ѳѳ}} + \alpha^{\text{ѳáð}} W^{\text{ѳáð}} + \alpha^{\text{ѳáѳ}} W^{\text{ѳáѳ}} + \alpha^{\text{ѳѳð}} W^{\text{ѳѳð}}. \quad (6)$$

Принимая  $\Delta = 0,57$  – отличие размеров в долях у куба и пластин, а значения  $\alpha_i$  из табл.1, получим  $W^{\Sigma} = 8,33x^3 - 1,71x^2 + 0,64x$ .

Число зерен угля в элементарном классе в бесконечно малом интервале  $dx$

$$dN = \frac{dY^-}{\rho^{\text{о}} W^{\Sigma}} dx. \quad (7)$$

Число зерен в классе мельче  $x_2$  и крупнее  $x_1$  находят интегрированием из выражения (7) в пределах от  $x_1$  до  $x_2$ :

$$N_{-x_2+x_1} = \int_{x_1}^{x_2} \frac{dY^-}{\rho^{\text{о}} W^{\Sigma}} dx. \quad (8)$$

Уравнение Розина – Раммлера для суммарной характеристики по минусу [1]

$$Y^- = 100(1 - e^{-bx^n}); \quad (9)$$

$$R = 100e^{-bx^n},$$

где  $Y^-$  – суммарный выход класса минус  $x$ , мк;  $R$  – суммарный выход класса по плюсу, %;  $x$  – размер отверстий сита, мк;  $b$  и  $n$  – параметры, зависящие от свойств материала и размерностей  $x$ .

Н.К.Белоглазов [2] путем преобразования уравнения Розина – Раммлера получил уравнение характеристики по минусу для мономинеральных руд:

$$Y = \frac{2B^1 X^{n^0}}{1 + B^1 X^{n^0}}, \quad (10)$$

где  $X$  – крупность частиц продукта, который соответствует их массовому кумулятивному выходу по минусу ( $Y$ );  $B^1$  и  $n^0$  – постоянные опыта.

Если данные опыта внести в систему координат  $\lg X$ ,  $\lg Y$ , то согласно уравнению С.Е.Андреева, выраженному в логарифмической форме

$$\lg Y = n^A \lg X + \lg A, \quad (11)$$

полученные точки должны лежать на одной прямой, тангенс угла наклона которой к оси абсцисс  $\lg X$  равен величине параметра  $n^A$ . В действительности это положение справедливо только для малых значений  $X$ .

Для спрямления криволинейных участков уравнений С.Е.Андреева в логарифмической форме, построенных для угля с большими значениями  $X$ , Б.А.Земляков [3] ввел в уравнение дополнительный параметр  $p$ , которым возможно регулировать расстояние между теоретической и экспериментальной кривыми, и получил уравнение

$$Y = \frac{B^0 CX^{n^A}}{1 + CX^{n^A}}, \quad (12)$$

где  $B^0 = p^{-1}$ ,  $C = Ap$ ,  $n^A$  – постоянные параметры данного распределения.

Но уголь не мономинерален, в нем помимо горючей массы присутствует зола. Это учел А.М.Хесин и получил уравнение для расчета зольности суммарных остатков, аналогичное по виду уравнению, предложенному им же для расчета ситового состава угля [7], в котором

$$E = 100 \exp[-X(a^1 X^2 + b^1 X + c^1)], \quad (13)$$

$$E = \frac{ZA_g^c}{A_0^c}, \quad (14)$$

где  $a^1, b^1, c^1$  – параметры данного распределения, величина  $E$  численно равна количеству единиц компонента в суммарном остатке  $Z$  на сите с отверстием размером  $X$ .

Исследования показали [4], что распределение горючей массы и золы каменных углей по классам крупности  $E$  подчиняется закономерности, аналогичной уравнению характеристики крупности угля [3], которая для этой цели может быть выражено в виде (12), где  $X$  – крупность частиц угля, которой соответствует кумулятивное извлечение данного компонента по минусу  $E$ ,  $B, C, n$  – постоянные параметры данного распределения,

$$C = \frac{1}{(B-1)M^n}, \quad (15)$$

где  $M$  – размер наиболее крупных частиц.

Параметр  $B$  может быть подсчитан по уравнению

$$B = \frac{E_2(E_1 E_2 - 2E_1 E_3 + E_2 E_3)}{E_2^2 - E_1 E_2} \quad (16)$$

при условии, что извлечения горючей массы и золы  $E_1, E_2, E_3$  соответствуют крупности частиц угля  $X_1, X_2, X_3$ , отвечающих соотношению  $X_1 : X_2 = X_2 : X_3$ .

Параметр  $n$  показывает распределение горючей массы и золы в различных классах крупности угля. Он характеризует степень кривизны кривой характеристики распределения (горючей массы и золы) в координатах  $X, E$ ,

$$n = \frac{\lg(BE_3^{-1} - 1) - \lg(BE_1^{-1} - 1)}{\lg X_1 - \lg X_3}. \quad (17)$$

Характеристики крупности угля и соответствующие им характеристики крупности горючего вещества отличаются друг от друга незначительно, так как горючая масса составляет основную часть каменного угля.

Характеристики крупности золы, наоборот, в большинстве случаев значительно отличаются от характеристик крупности всей пробы и горючей массы. Можно отметить преобладание золы в мелких классах.

Значение параметра  $n$  характеристики крупности горючей массы, как правило, больше его значения для характеристики крупности золы.

Зольность любого класса крупности угля [3] определяется как:

$$A_{i-j}^c = \frac{Y_i A_{gi}^c - Y_j A_{gj}^c}{Y_i - Y_j}, \quad (18)$$

где  $A_{gi}^c, A_{gj}^c$  – средневзвешенные зольности суммарных выходов по минусу и по плюсу,  $Y_i, Y_j$  – выходы классов по минусу и по плюсу.

Сравнение расчетов зольности по зависимости (14) [7] и средневзвешенной для различных классов крупности каменного угля шахты «Суходольская» (Донбасс) приведено в табл.2.

Учитывая форму частиц угля  $W^\Sigma$  и зольность классов крупности (18) через плотность угля, можно получать уточненное количество зерен каменного угля в водоугольной суспензии по зависимости (8). Расчеты показали, что (см. табл.1) объем кубических зерен по старой методике [1]

$W^{\text{дог}} = 99 \cdot 10^{-3} \text{ и } 3$  и объем для гетерогенной водоугольной суспензии  $W^\Sigma = 83,03 \cdot 10^{-3} \text{ и } 3$  по формуле (1) отличаются на 16 %.

Таблица 2

Зависимость расчетной зольности от крупности угля

$X, \text{ мм}$	$E$	$A_{\text{дог}}^c = E \frac{A_0^c}{Z}$	$A_g^c$
6	35,16	22,16	23,83
3	57,46	21,10	24,61
1	82,54	25,65	24,12
0,5	90,76	23,65	23,9
0,3	94,33	23,78	23,81
0,2	96,85	23,44	23,75
0,1	98,05	23,54	23,74
0	100,0	23,6	23,6

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С.Е.Андреев, В.А.Перов, В.В.Зверев М.: Недра, 1980. 415 с.
2. Белоглазов Н.К. Уравнение характеристики крупности продуктов измельчения мономинеральных руд // Записки ЛГИ. 1956. Т.ХХХII. Вып.3. С.229-234.
3. Земляков Б.А. Прогнозирование характеристик обогатимости углей. М.: Недра, 1978. 129 с.
4. Земляков Б.А. Распределение горючего и породы каменных углей по классам крупности / Б.А.Земляков, Н.К.Белоглазов // Изв. СО АН СССР. 1961. № 9. С.122-127.
5. Незаметдинов А.Б. Особенности подготовки угля перед гидротранспортированием на дальние расстояния / А.Б.Незаметдинов, В.Г.Ластов // Обогащение руд. 2001. № 6. С.31-34.
6. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. М.: Недра, 1978. 336 с.
7. Хесин А.М. Описание закономерности распределения зольности и серы в различных классах крупности угля при помощи кумулятивной кривой // Техника и технология обогащения угля; УкрНИИУглеобогащение. М., 1968.