

К ВОПРОСУ О УРАВНЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУПНОСТИ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ

Б. А. ЗЕМЛЯКОВ

(Представлено проф. докт. техн. наук Геблером И. В.)

Гранулометрический состав рыхлых материалов играет важную роль во многих процессах их переработки и при использовании в ряде отраслей промышленности. Поэтому необходимо знать закономерности изменения ситового состава материалов и выражения этих закономерностей в виде уравнений.

В литературе имеется большое количество работ различных авторов, посвященных поискам аналитического выражения уравнений характеристики крупности. Наибольшее распространение получили уравнение С. Е. Андреева [1],[4] и экспоненциальное уравнение П. Розина и Е. Раммлера [5].

В уравнении С. Е. Андреева

$$Y = AX^{\kappa} \quad (1)$$

X — крупность частиц продукта, которой соответствует весовой кумулятивный выход по минусу Y ;
 A и κ — постоянные опыта.

$$A = \frac{1}{M^{\kappa}},$$

где M — размер наиболее крупных частиц продукта.

Уравнение (1) хорошо отражает распределение частиц по классам крупности только для 60% наиболее мелких классов продукта и становится сравнительно мало пригодным при необходимости оценки состава наиболее крупных классов. Величина параметра M , полученная по уравнению M_T , всегда оказывается меньше действительного ее значения M_0 (рис. 1).

В уравнении П. Розина и Е. Раммлера, предложенного авторами для угля

$$Z = e^{-Rx^m} \quad (2)$$

где

X — крупность продукта, которой соответствует весовой кумулятивный выход по плюсу равный Z ;

e — основание натурального логарифма;
 R и m — определяемые из опыта постоянные

$$R = \frac{1}{X_e^m},$$

где X_e — крупность, которой соответствует кумулятивный выход продукта по плюсу равный 0,368.

Уравнение (2) хорошо отражает распределение 80% наиболее мелких частиц по крупности и так же, как и уравнение (1), может приводить к существенным ошибкам в оценке состава наиболее крупных классов материала. Уравнение (2) не удовлетворяет предельным условиям (при $X = M$, $Z \neq 0$). Расчет по этому уравнению значительно сложнее, чем по уравнению (1).

Л. М. Черным [6] было предложено уравнение характеристики крупности, дающее хорошее совпадение с опытными данными, но вследствие его сложности, наличия трех опытных постоянных и необходимости применения специальных таблиц это уравнение не может считаться вполне пригодным для практических расчетов.

Н. К. Белоглазов предложил уравнение характеристики крупности мономинеральных руд [2]

$$Y = \frac{2bX^n}{1+bX^n}. \quad (3)$$

Входящие в уравнение коэффициенты b и n определяются из опыта. Уравнение (3) удовлетворяет предельным условиям ($X = M$, $Y = 1$; $X = 0$, $Y = 0$) и применимо в области значений $Y = 0,9$, т. е. для 90% продукта. Расчет по уравнению (3) значительно проще, чем по уравнению П. Розина и Е. Раммлера и Л. М. Черного. В той же работе Н. К. Белоглазов указывает, что при необходимости охарактеризовать крупность всех 100% материала нужно воспользоваться предложенным им уравнением

$$Z = e^{-\frac{bX^n}{1+bX^n}} \quad (4)$$

Проведенные нами исследования характеристик крупности каменных углей показали, что ни одно из рассмотренных уравнений полностью не отражает действительного распределения частиц угля по крупности (табл. 1). Кривые, построенные на основании расчетов по уравнениям и на основании экспериментальных данных, значительно отличаются друг от друга. Этого расхождения, по-видимому, и следовало ожидать, так как уголь не представляет собой однородной массы и по своим свойствам аналогичен скорее полиминеральным, чем мономинеральным рудам, для которых в основном и выводились перечисленные выше уравнения.

Отсутствие уравнения характеристики крупности, позволяющего с достаточной степенью точности охарактеризовать распределение

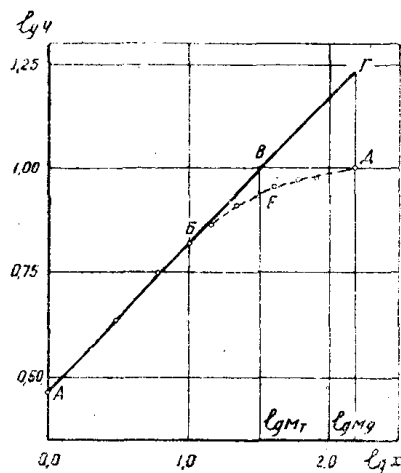


Рис. 1. Характеристика крупности каменного угля в логарифмических координатах $\lg X$, $\lg Y$.

частиц каменного угля по крупности, привело нас к поискам такого уравнения. В новом уравнении нужно было, с одной стороны, использовать свойство уравнений (1) и (2) давать хорошее совпадение опытных данных с расчетными в области малых значений X и, с другой стороны, попытаться расширить эту область на более крупные частицы материала.

Если данные опыта внести в систему координат $\lg X$ и $\lg Y$, то согласно уравнению (1), выраженному в логарифмической форме

$$\lg Y = \kappa \lg X + \lg A, \quad (5)$$

полученные точки должны лежать на одной прямой, тангенс угла наклона которой к оси $\lg X$ численно равен величине параметра κ . Отмеченное положение остается справедливым только для части опытных данных в области малых значений X .

Если бы все точки опыта легли на одну прямую, то это означало бы, что уравнение этой прямой отражает действительное распределение частиц продукта по крупности. Тогда по полученному уравнению можно было бы определить величину параметра κ , размер наиболее крупных частиц продукта M и выход отдельных классов крупности продукта.

Для того чтобы все точки опыта оказались на одной прямой (рис. 1), нужно, чтобы опытная кривая $ABED$ в области больших значений X отклонилась влево и совпала с прямой AG . При установлении соответствующей зависимости между X и Y это положение оказалось осуществимым.

Если преобразовать уравнение (5)

$$\lg \frac{1}{Y} = -\kappa \lg X - \lg A \quad (6)$$

и использовать свойство логарифмов, согласно которому абсолютная величина разности $\lg v - \lg(v-p)$ при $v > p$ будет тем больше, чем меньше величина v , то получится, что величина Y будет тем больше,

чем больше будет разность $\lg \frac{1}{Y}$ и $\lg \left(\frac{1}{Y} - p \right)$. При этом, как и

по уравнению (1), кривая функции $\lg \left(\frac{1}{Y} - p \right)$ должна лежать ниже

кривой функции $\lg \frac{1}{Y}$.

Проведенный анализ характеристик крупности углей различных угольных бассейнов показал, что подбором величины коэффициента p можно достигнуть значительного изменения характера опытной кривой. Спрямление же кривой характеристики крупности каменных углей в логарифмических координатах получается на более широком диапазоне при значении $p = 0,9$, то есть в координатах $\lg \left(\frac{1}{Y} - 0,9 \right)$ и $\lg X$ (рис. 2). Следовательно, уравнение этой прямой будет иметь вид

$$\lg \left(\frac{1}{Y} - 0,9 \right) = -n \lg X - \lg A, \text{ откуда} \\ Y = \frac{AX^n}{1+0,9AX^n}. \quad (7)$$

В полученном уравнении:

X — крупность частиц продукта, которой соответствует весовой ко-
мулятивный выход по минусу Y ;

A и n — постоянные, определяемые из опыта

$$A = \frac{1}{0,1 M^n},$$

где M — средний размер наиболее крупных частиц продукта.

Параметр n отражает характер распределения частиц по классам круп-
ности или степень кривизны кривой ха-
рактеристики крупности в координатах
 X и Y .

Уравнение (7) удовлетворяет гранич-
ным условиям (при $X = 0$, $Y = 0$; при
 $X = M$, $Y = 1$) и обладает тем преиму-
ществом, что оно применимо в области
значений Y от нуля до 90 — 95%.

Если в полученном уравнении при-
нять $A = \frac{C}{0,9}$ (где C — постоянная опы-
та), то уравнение (7) примет вид

$$Y = \frac{1,11 CX^n}{1 + CX^n} \quad (8)$$

Расчет характеристик крупности ка-
менного угля, проведенный по уравне-
нию (8), показал, что почти для всех значе-
ний X получаются результаты, наиболее близкие к опытным. Это
положение легко проследить в табл. 1. При малых значениях X величиной
 CX^n можно пренебречь и тогда уравнение (8), как и уравнение (3), пе-

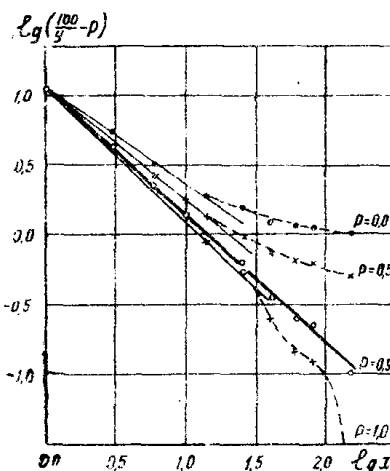


Рис. 2. Спрявление кривой ха-
рактеристики крупности в логариф-
мических координатах.

Таблица 1

Сравнение опытных данных с расчетными, полученными по различным уравнениям
характеристик крупности

Крупность в мм	Кумулятивный выход продукта по минусу — Y , в %				
	Фактический	вычисленный по уравнениям			
		С. Е. Андреева (1)	П. Розина и Е. Раммлера (2)	Н. К. Бело- глазова (3)	(9)
150	100,00	292,00	99,03	140,50	99,30
80	89,12	188,00	94,04	118,00	91,50
60	87,53	153,00	89,46	106,70	86,80
40	80,90	115,00	78,95	90,70	78,80
25	65,24	82,80	67,50	72,70	67,80
14	53,22	50,20	50,50	53,00	52,90
10	43,66	43,35	41,85	43,20	44,25
6	31,26	30,60	30,50	31,10	32,20
3	18,56	18,50	19,30	19,10	19,40
1	8,41	8,65	8,20	8,47	7,82
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		$K=0,705$	$m=0,790$	$n=0,794$	$n=0,942$
		$A=8,55$	$R=0,0888$	$b=0,0442$	$c=0,0755$
		$M_T=32,70$	$x_e=21,45$	$M_T=51,30$	$M_T=166,00$

переходит в уравнение С. Е. Андреева. Это указывает на то, что уравнение (1) является приближенным выражением данного уравнения.

Полученное уравнение в общем виде можно выразить в следующей форме:

$$Y = \frac{BCX^n}{1 + CX^n}, \quad (9)$$

где B — некоторый постоянный для данного материала коэффициент.

Если в полученном уравнении принять $B = 2,0$, то уравнение (9) совпадает с уравнением (3). Однако Н. К. Белоглазов придает этому коэффициенту только формальный характер и не увязывает его с физическими свойствами продукта. Между тем, по нашим наблюдениям, величина коэффициента B получалась равной двум для мономинеральных руд (кварц, полевой шпат) и $B = 1,11$ для каменных углей. Следовательно, более универсальной по сравнению с другими формой уравнения характеристики крупности должно являться уравнение (9), в котором коэффициент B может принимать различные значения в зависимости от физических свойств продукта. Для каменного угля иногда замечается некоторое отклонение величины коэффициента B от $B = 1,11$ в пределах от $B = 1,0$ до $B = 1,25$. Вполне возможно, что эти отклонения являются следствием различия петрографического состава углей отдельных месторождений и пластов.

Отмеченное обстоятельство позволяет поставить вопрос о возможном существовании закономерности изменения коэффициента B для различных продуктов. Установление такой закономерности значительно облегчило бы задачу определения характеристики крупности различных продуктов.

Выводы

1. Характеристики крупности диспергированных продуктов наиболее полно могут быть представлены уравнением (9).
2. Коэффициент B уравнения (9) может принимать различные значения в зависимости от физических свойств продуктов. Например, для каменных углей $B = 1,11$, для кварца и полевого шпата $B = 2,0$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев С. Е. Горный журнал №6, ГОНТИ, 1959.
2. Белоглазов Н. К. Уравнение характеристики крупности мономинеральных руд. Записки Ленинградского горного института, т. 32, вып. 3, Metallurgizdat, 1956.
3. Егоров Г. Г. Теория дробления и тонкого измельчения. ГОНТИ НКТП СССР, 1938.
4. Разумов К. А. Проектирование обогатительных фабрик. Metallurgizdat, 1952.
5. Rosin P. и Rammler E. Journal of Fuel Inst. 7. X. 33, N 31—29, 1933.
6. Черный Л. М. Закономерности гранулометрического состава продуктов дробления и измельчения Обогащение руд горнохимического сырья, вып. 1, Труды ГИГХС, 1950.