
© Е.Ф. Цыпин, Т.Ю. Овчинникова,
Е.В. Ентальцев, 2008

УДК 622.7

Е.Ф. Цыпин, Т.Ю. Овчинникова, Е.В. Ентальцев

***РАСКРЫТИЕ ФАЗ В ПРОДУКТАХ
ОБОГАЩЕНИЯ***

Семинар № 25

Законности раскрытия минеральных фаз с теоретических позиций одним из первых рассмотрел А.М. Годэн. Годэном введены следующие понятия: «подчиненная фаза B » – минерал; «преобладающая фаза A » – порода; d – крупность дробленной или измельченной руды; d_3 – крупность зёрен подчиненной фазы; P_A – показатель раскрытия фазы A , доля свободных частиц фазы A ; P_B – показатель раскрытия фазы B , доля свободных частиц фазы B . Разработанная им модель раскрытия минеральных фаз легла в основу многих последующих.

В 90-х годах XX века на основе модели Годэна В.З. Козин предложил модель раскрытия минеральных фаз, учитывающую законности раскрытия не только породы, минерала, но и формирования сростков, однако полученные им теоретические законности требуют дополнения. Поскольку в руде одновременно существует множество минеральных зёрен различной крупности, размер зерна не является фиксированным значением, при расчете показателей и оценке законностей раскрытия нельзя утверждать, что существует единый средний размер зерна, следовательно, необходимо оперировать понятием функция плотности распределения крупности зёрен $w(d_3)$. Целью работы являлся анализ влияния вида закона распределения крупно-

сти зёрен на вид получаемых теоретических и эмпирических кривых раскрытия.

При расчете теоретических кривых полагалось, что выборка кусков руды настолько велика, что внутри неё можно выделить совокупности кусков с любым фиксированным значением зерна – d_{3i} . Уменьшение крупности кусков и законности изменения показателей раскрытия фаз для каждого фиксированного значения принимались аналогично условиям и формулам В.З. Козина [1].

Рассчитав показатели раскрытия при изменении крупности кусков в широком диапазоне для каждого выделенного d_{3i} и учтя его долю в руде, можно получить значения показателей раскрытия с учетом заданного распределения размеров зёрен подчиненной фазы. Поскольку в кусках любой крупности могут содержаться обломки зерен подчиненной фазы любой крупности, целесообразно графики изменения показателей раскрытия от крупности приводить в осях $P_A, P_B = f(d)$.

Задача решена для различных видов распределений крупности. На рис. 1 представлены характеристики раскрытия подчиненной и преобладающей фаз для непрерывных распределений крупности зерен и различных объемных соотношений фаз.

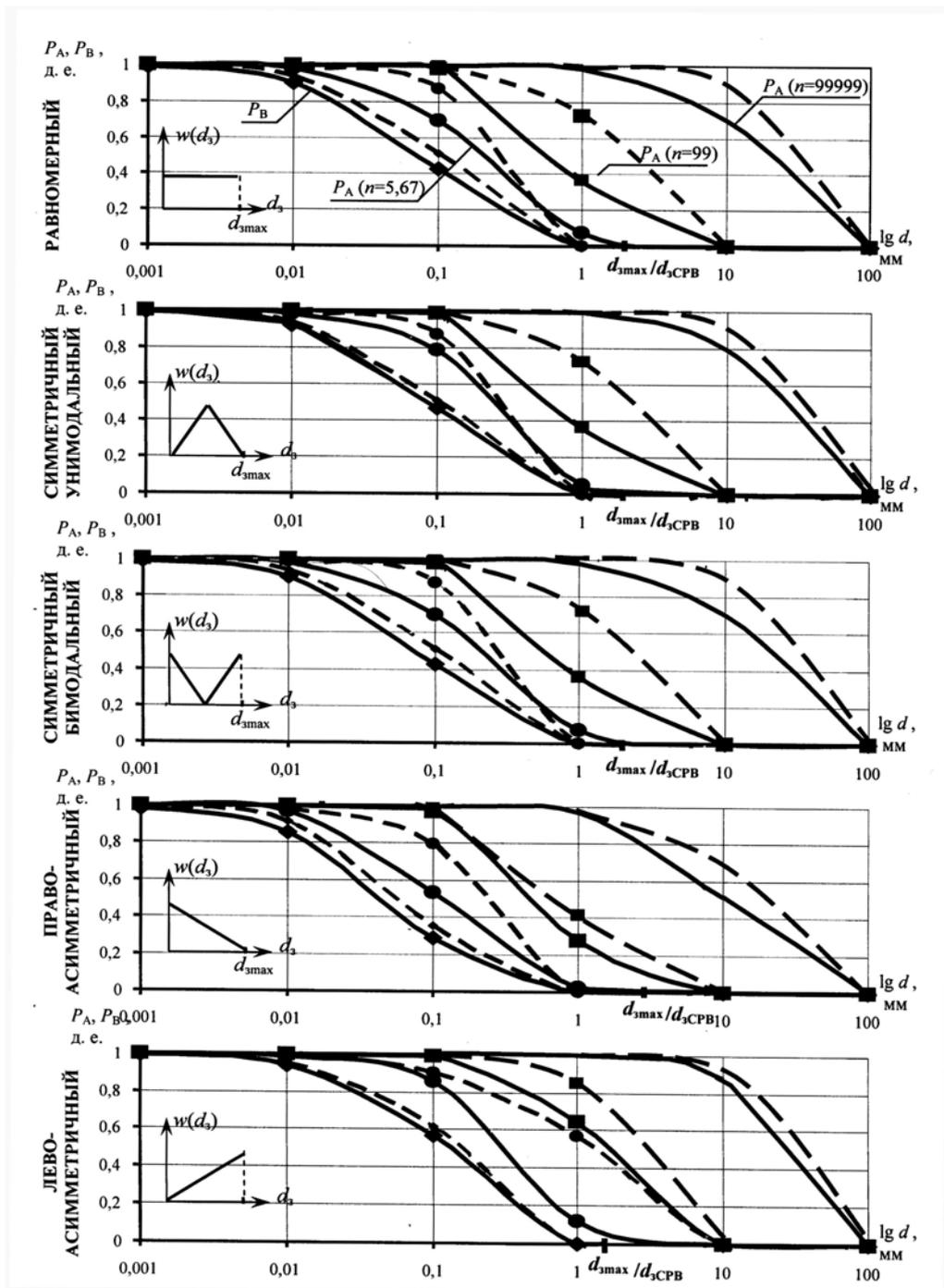


Рис. 1. Характеристики раскрытия подчиненной и преобладающей фаз: с учетом различных законов распределения по крупности зерен $w(d_s)$ – сплошная линия; по d_{sCPB} – штриховая линия

Раскрытие с учетом вида закона распределения зерен по крупности определялось по формуле

$$P_{A,B} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{i(A,B)} w(d_{3i}) \Delta d_{3i}}{\sum_{i=1}^n w(d_{3i}) \Delta d_{3i}}, \quad (1)$$

где i – индекс, соответствующий номеру интервала по d_3 ; Δd_3 – ширина i -го интервала, мм.

На каждом графике сопоставлены характеристики раскрытия с учетом распределения размера зёрен – $w(d_3)$ с аналогичными кривыми, рассчитанными для фиксированного значения размера зерна, которое для любого из распределений вычислено как средневзвешенное – $d_{3СРВ}$.

Анализ характеристик раскрытия минеральных фаз показал, что в случае учета $w(d_3)$ для всех рассмотренных распределений раскрытие зёрен как подчиненной, так и преобладающей фазы начинается в большей и заканчивается в меньшей крупности, по сравнению с раскрытием, оцениваемым по $d_{3СРВ}$.

Раскрытие подчиненной фазы начинается при $d = d_{3\max}$ для характеристик, рассчитанных с учетом $w(d_3)$, и при $d = d_{3СРВ}$ (точка с координатами (1; 0)) для характеристик, рассчитанных при фиксированном размере зерна, соответственно. Характеристики раскрытия, рассчитанные по $d_{3СРВ}$, одинаковы для всех симметричных законов распределения, однако, те же характеристики, рассчитанные с учетом распределения крупности зерен, отличаются друг от друга. Те же тенденции отмечены и для асимметричных распределений крупности зерен.

Результаты решения данной задачи позволяют также сделать вывод о том, что использование в расчетах $d_{3СРВ}$

вместо $w(d_3)$, если раскрытие существенно, всегда будет давать завышение как показателей раскрытия при одинаковой крупности материала, так и крупности частиц при заданных значениях показателей раскрытия. При расчете показателей раскрытия необходимо учитывать вид распределения крупности зерен подчиненной фазы для получения более точных данных.

Эмпирические кривые раскрытия были получены в результате исследований следующих видов руд: пиритной – Березовского месторождения; магнетитовой – Гусевогорского месторождения; хромитовой – Рай-Изского месторождения.

Основное отличие руд – разное значение объемного соотношения минеральных фаз. Были изучены физико-механические свойства руд, описаны вещественный, минералогический и granulometric составы руд.

Для каждого вида руды определена плотность распределения крупности минеральных зерен. Информация относительно трехмерных особенностей руд получена при использовании косвенных методов анализа изображений.

Изучаемые руды имеют различные виды функций распределения крупности зерен. Распределение крупности зерен пиритной руды относится к левоасимметричным, в данной руде велика доля крупных зерен. Вид функции распределения крупности зерен магнетитовой руды – правоасимметричный, значительно преобладание мелких зерен.

Распределения крупности минеральных зерен хромитовой руды месторождения Рай-Из определены для разных ее типов. В целом распределения крупности зерен хромитовой руды можно охарактеризовать как левоасимметричные.

Следующим этапом исследования было изучение характеристик раскрытия минеральных фаз и сростков руд.

В крупных классах изучалась контрастность руды, раскрытие в мелких классах определялось методом микроскопического анализа.

Определение раскрытия в мелких классах крупности осуществлялось в параллельных опытах.

Получены фракционные характеристики по среднему объемному содержанию минерала. По результатам фракционирования построены эмпирические кривые раскрытия подчиненной и преобладающей фаз и различных видов сростков для трех видов руд.

Заключительным этапом работы являлся сравнительный анализ кривых раскрытия, полученных эмпирическим путем, и кривых, рассчитанных с использованием условий А.М. Годэна [2] и формул В. З. Козина [1]. Данные для теоретического расчета: средневзвешенная крупность частиц, распределение $w(d_3)$, объемные соотношения преобладающей и подчиненной фаз, были определены экспериментальными исследованиями.

Вычислены теоретические показатели раскрытия с учетом $w(d_3)$ и по $d_{3СРВ}$ для пиритной и магнетитовой руды. Особенностью хромитовой руды является то, что принятое деление на подчиненную фазу и преобладающую не применимо. Соотношение преобладающей и подчиненной фаз близко к 1, то есть $n < 5,67$ (ограничение применения расчетных формул [1, 2]). Этот факт делает невозможным расчет теоретических кривых раскрытия для этой руды, поэтому приведены лишь экспериментальные кривые.

На рис. 2 представлены экспериментальные (1) и теоретические (2,3) кри-

вые раскрытия минеральных фаз для пиритной и магнетитовой руд. Теоретические кривые получены с учетом распределения крупности зерен (2) и без него (3).

Был проведен сравнительный анализ отличия экспериментальных кривых от кривых рассчитанных с учетом распределения крупности зерен и без него. Характеристики оценивались по критерию Стьюдента. Анализ показал, что кривые, полученные экспериментальным путем и теоретическим, отличаются друг от друга. Особенно большое отличие для характеристик раскрытия подчиненной фазы.

Помимо оценки по критерию Стьюдента, был проведен сравнительный анализ интегральных отклонений теоретических кривых от экспериментальных.

Формула для вычисления интегральных отклонений:

$$D = \sum_{i=1}^n |P_{iЭ} - P_{iT}|,$$

где $P_{iЭ}$ – значение раскрытия в i -том классе крупности, полученное экспериментальным путем; P_{iT} – значение раскрытия в i -том классе крупности, рассчитанное по теоретическим формулам с учетом распределения по крупности зерен и без него.

Сравнение кривых раскрытия, показало, что кривые, рассчитанные с учетом распределения $w(d_3)$, ближе к экспериментальным, чем рассчитанные без учета распределений. Анализ результатов указывает на существенное различие экспериментальных и теоретических кривых для всех видов руд.

Во всех случаях кривые, рассчитанные с учетом распределений $w(d_3)$ проходят к экспериментальным ближе, чем

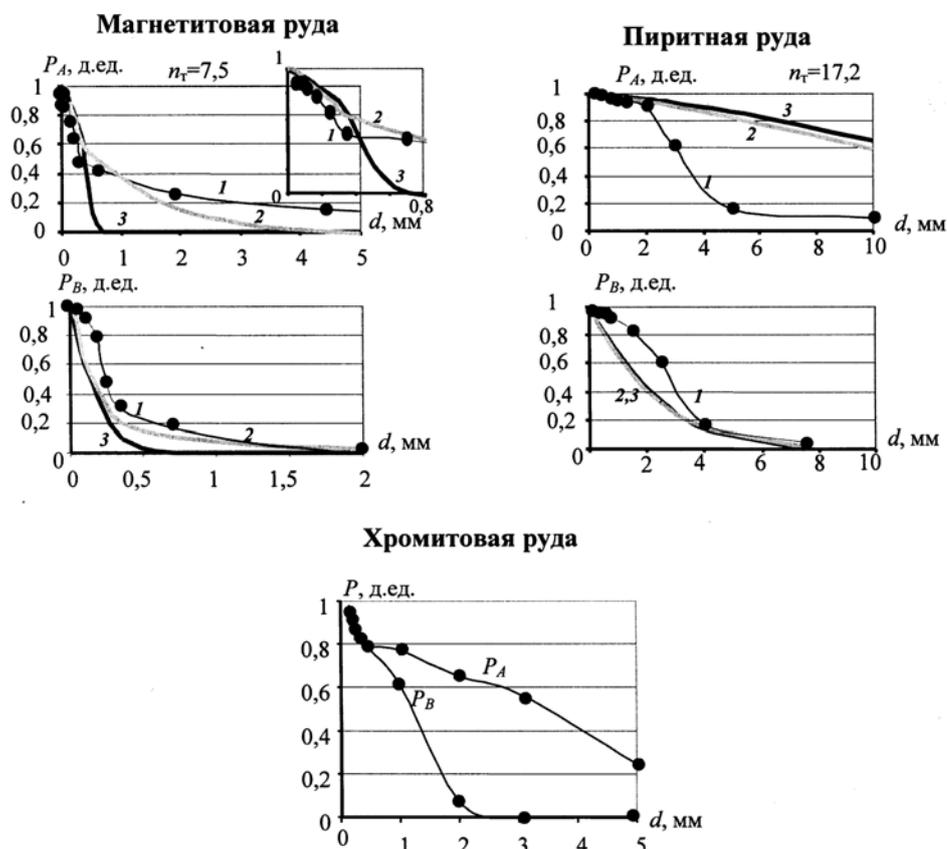


Рис. 2. Экспериментальные и теоретические кривые раскрытия: 1 – экспериментальные; 2 – полученные с учетом распределения $w(d_s)$; 3 – полученные без учета $w(d_s)$

аналогичные кривые, рассчитанные по $d_{3СРВ}$.

Для магнетитовой руды отклонения теоретических показателей, рассчитанных с учетом распределений $w(d_s)$ оказались меньше в 1,3 раза для P_A и в 1,1 раза для P_B соответственно.

На примере пиритной руды также можно видеть, что кривые раскрытия преобладающей фазы, рассчитанные с учетом распределения крупности зерен ближе к экспериментальным кривым (отклонения отличаются в 1,1 раз). Кривые раскрытия подчиненной фазы,

рассчитанные с учетом распределения и без него, близки между собой.

Выявленные весьма существенные различия между теоретическими и экспериментальными данными указывают на возможные ошибки при обосновании и расчете технологических схем обогащения, если для этих целей использовать теоретические кривые раскрытия. Более надежную информацию для расчетов и проектирования дают кривые раскрытия фаз, полученные экспериментальным путем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козин В.З. Формулы раскрытия фаз и образования сростков при разрушении кусков руды / В. З. Козин, Т. В. Нестерова // Изв. вузов. Горный журнал. – 1995. – №9. – С.131-136.

2. Годэн А.М. Основы обогащения полезных ископаемых: пер. с англ. – М.: ГНТИ

План активных сил, действующих на частицу в центробежном поле

литературы по черной и цветной металлургии, 1946. – 535 с. **ГИАН**

Коротко об авторах

Цыпин Е.Ф. – профессор, доктор технических наук,

Овчинникова Т.Ю. – инженер,

Ентальцев Е.В. – аспирант,

Уральский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 25 симпозиума «Неделя горняка-2007».

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.А. Абрамов.



© К.А. Водовозов, 2008

УДК 622.7

К.А. Водовозов

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ
МИНЕРАЛОВ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ
КОНЦЕНТРАЦИИ**

Семинар № 25

Теоретические и практические исследования процесса центробежной концентрации свидетельствуют о высокой эффективности данного процесса при извлечении тонкодисперсных частиц благородных металлов. Наложение центробежных полей существенно повышает эффективность разделения.

В центробежных концентраторах, как правило, материал движется по

образующей конуса сверху вниз. Сила тяжести при этом противодействует движению материала.

Нами выполнен упрощенный теоретический анализ движения частиц по поверхности конуса центробежного концентратора при отрывающей силе тяжести. План активных сил, действующих на частицу в центробежном поле, приведен на рисунке.

Для удержания частицы на поверхности конуса центробежного концентратора должно выполняться следующее условие:

$$F_{цб} \cos \alpha > mg \sin \alpha, \quad (1)$$

где $F_{цб}$ – центробежная сила, действующая на частицу, Н; m – масса частицы, кг; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; α – угол между образующей чаши и вертикалью, градусы.

Условие движения частицы по поверхности выглядит следующим образом:

$$F_{цб} \sin \alpha + mg \cos \alpha > F_{тр}, \quad (2)$$

где $F_{тр}$ – сила трения, Н.

Центробежная сила определяется по формуле:

$$F_{цб} = m \frac{\pi^2}{900} n^2 R, \quad (3)$$

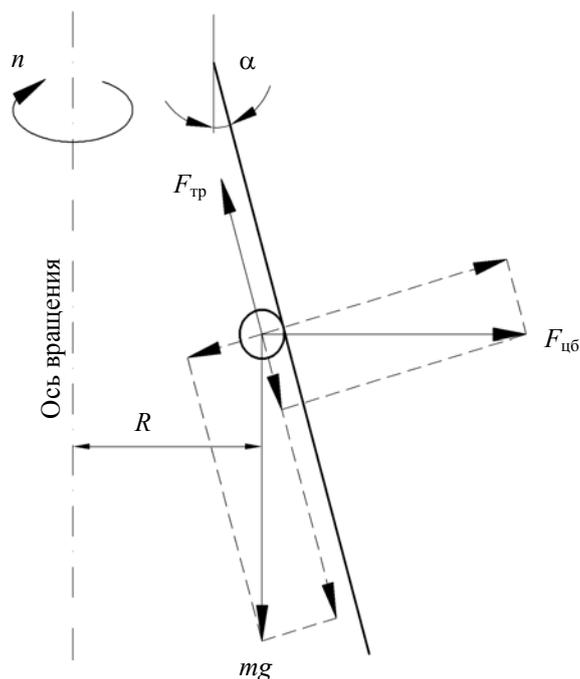
где n – скорость вращения ротора, мин^{-1} ; R – радиус вращения, м.

Сила трения определяется по формуле:

$$F_{тр} = f N, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения; N – модуль силы нормальной реакции опоры, Н.

Учитывая вышеприведенные формулы, условие закрепления частицы на по-



верхности выглядит следующим образом:

$$tg \alpha < \frac{\pi^2}{900g} n^2 R. \quad (5)$$

Условие движения частицы по поверхности:

$$tg \alpha > f - \frac{900g}{\pi^2 n^2 R}. \quad (6)$$

Соотношения (5) и (6) позволяют определить конструктивные параметры ротора центробежного концентратора.

ГИАБ

Коротко об авторе

Водовозов К.А. – аспирант, Уральский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 25 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. А.А. Абрамов.