

УДК 622.7

А.Н. Храмов

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РАСКРЫТИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЯ КОНТРАСТНОСТИ

Проведены результаты исследования по оптимизации крупности дробления или измельчения при подготовке минерального сырья для обогащения путем проведения серии опытов по дроблению (измельчению) исследуемой руды с различной степенью и изучения зависимости показателя порционной контрастности от степени разрушения с учетом объединения в одну фракцию мелких (шламовых) классов крупности минералов ценного компонента и вмещающих пород.

Ключевые слова: оптимизация, крупность дробления (измельчения), минеральное сырьё, обогащение, показатель порционной контрастности, мелкая (шламовая) фракция.

Динамика изменения качества добываемых твердых полезных ископаемых показывает, что содержание в них полезных компонентов систематически снижается. Эта тенденция естественна в связи с невозполнимостью запасов полезных ископаемых в недрах земной коры и прогрессирующими темпами потребления материалов, получаемых из минерального сырья.

Вовлечение в эксплуатацию месторождений бедных, забалансовых и труднообогатимых руд, залегающих в сложных горно-геологических условиях, для отработки которых требуется применение высокопроизводительного горного оборудования и систем с массовым обрушением, снижают качество сырья, поступающего на обогащение, усложняют технологические схемы его переработки [1].

В этих условиях возрастает роль развития технологии обогащения полезных ископаемых, что в свою очередь предполагает совершенствование и создание принципиально новых методических основ проведения исследований на обогатимость минерального сырья, в том числе оптимиза-

ции подготовительных процессов. В частности методического подхода к отысканию оптимальной крупности дробления и измельчения при подготовке руды для обогатительных процессов, как в основном цикле, так и на стадии предварительного обогащения.

Исследование руд по выбору оптимальной крупности подготовительных процессов и разработка эффективной схемы обогащения являются сложнейшей задачей со многими неизвестными, требующей внимательного сопоставления многих, часто противоречивых данных и постановки многочисленных экспериментов.

Трудоемкость и долгосрочность такого исследования связана с тем, что использование для этих целей традиционных способов и методик предполагает проведения изысканий по выбору оптимальных параметров подготовительных процессов совместно с отработкой параметров разделительного процесса, требующих значительного объема экспериментальной работы.

Исследованием руд по выбору оптимальной крупности подготови-

тельных процессов занимаются множество зарубежных и отечественных ученых, ниже приводятся несколько известных способов, которые сегодня востребованы исследователями.

Способ оптимизации параметров измельчения перед флотационным обогащением путем проведения серии опытов по флотации проб исследуемой руды, где степень измельчения входит в исследование флотиремости в качестве варьируемого параметра [1].

Способ, где по графической зависимости коэффициента раскрытия (извлечение в сростковую фракцию) от продолжительности измельчения определяется коэффициент раскрытия для заданного времени измельчения, значение которого по шкале классификации определяет категории раскрываемости [2].

Экспериментальный способ определения и прогнозирования при измельчении руды оптимальной степени раскрытия полезных минералов с помощью модернизированной в ЗАО «Механобр инжиниринг» системы анализа микроизображения Видеоплан с применением собственных программ измерений и обработки данных [3].

Методика по оценке раскрываемости ценного минерала с использованием следующих критериев: показателя контрастности (М), степени статического фазового раскрытия (L), показателя селективности (П) [4].

Основной недостаток вышеперечисленных методик заключается в том, что выбор оптимальных параметров измельчения руды и степени раскрытия ценного минерала от продолжительности измельчения по математическим моделям, имеющим пропорциональную зависимость, не представляется возможным по причине отсутствия экстремумов. Т.е. определяется динамика процесса и категория (класс)

измельчаемости или раскрываемости, но не численное значение оптимальных параметров измельчения.

Раскрываемость минералов – одно из технологических свойств руды, характеризующее склонность минералов к раскрытию при измельчении. Область оптимальных параметров измельчения руды характеризуется максимальной степенью раскрытия и минимальной степенью переизмельчения ценного минерала. При измельчении руды для достижения максимального раскрытия ценного минерала образуется труднообогатимая часть материала – шламы (переизмельченные зерна минералов), составляющими которой могут быть как тонкие частицы ценного минерала, так и тонкие частицы вмещающих пород. Чем больше выход шламов, тем выше значение показателя контрастности т.к. степень раскрытия ценного компонента увеличивается, но при этом снижается обогатимость за счет увеличения доли труднообогатимой части руды, что в свою очередь снижает технологические и экономические показатели обогатительного процесса (качество концентрата, извлечение ценного компонента в концентрат, увеличение расхода реагентов и т.п.).

Для наглядности процесс раскрытия от времени измельчения схематично можно представить следующим образом (рис. 1, а): начальная состояние (исходная руда) – максимальное выход фракции сростков плюс незначительный выход фракций раскрытых зерен ценного минерала и зерен вмещающих пород; конечное состояние соответствует полному раскрытию ценного минерала (отсутствию фракций сростков), при этом наблюдается максимальный выход фракций раскрытых зерен ценного минерала и вмещающих пород, а также максимальный выход

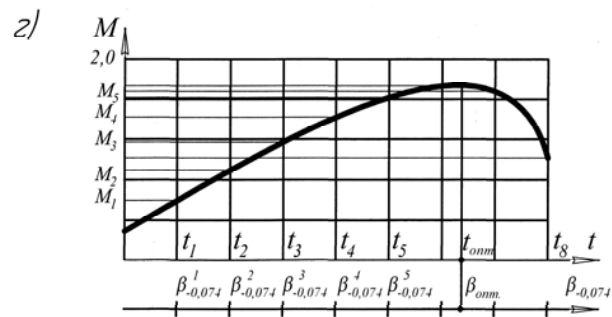
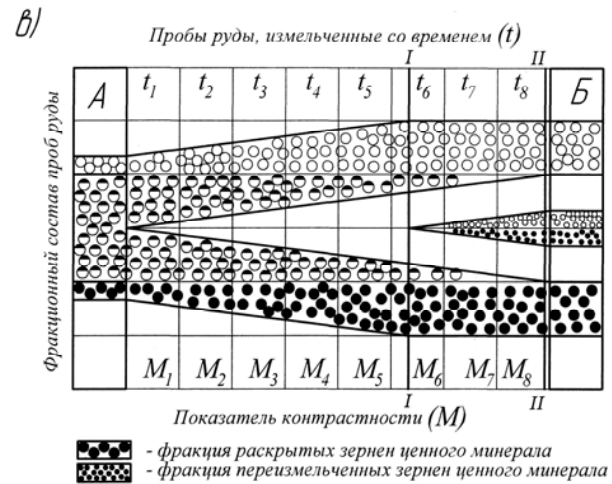
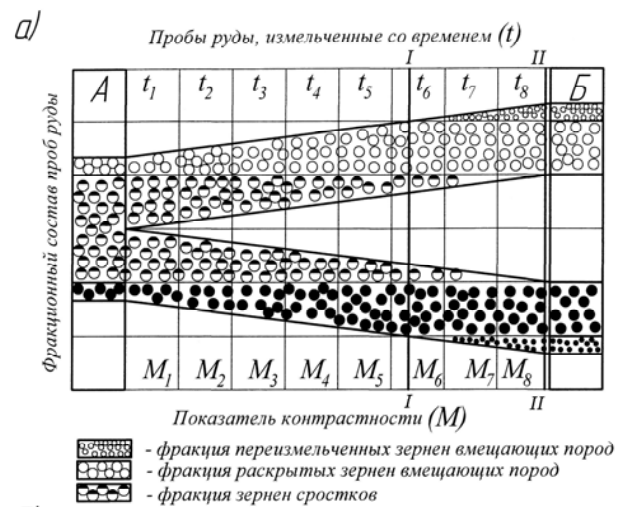


Рис. 1. Схема распределения фракций (а, в) и графики зависимости показателя контрастности (б, г) от измельчения проб руды с различными промежутками времени

фракции переизмельченный зерен ценного минерала и вмещающих пород. Фракционный состав промежуточных проб руды (измельченных с различными промежутками времени) будет представлен различным соотношением выходов выше перечисленных фракций и характеризоваться определенными значениями показателя контрастности.

Как известно, под контрастностью руды понимается степень неравномерности распределения ценного компонента в отдельных кусках (фракциях, порциях и т.п.) руды. Количественной характеристикой (показателем) контрастности пробы минерального сырья является средневзвешенное относительное отклонение содержаний ценного компонента во фракциях от среднего его содержания в пробе, который обозначается символом M и определяется по формуле[5]:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n |(\beta_i - \alpha)| \cdot \gamma_i}{100 \cdot \alpha},$$

где α – содержание ценного компонента в пробе, %; β_i – содержание ценного компонента в кусках (фракциях), %; γ_i – выход куска (фракции) от общей массы изучаемой пробы, %; i – порядковый номер куска (фракции) изучаемой пробы; n – число кусков (фракций), составляющих пробу.

Значение величины показателя контрастности в зависимости от степени раскрытия ценного компонента имеет пропорциональную закономерность и может изменяться в пределах от 0 до 2,0 (рис. 1, б).

При математической обработке результатов фракционирования с учетом шламовых фракций раскрытых зерен ценного минерала и зерен вмещающих пород одной объединенной фракцией (рис. 1, в), приобре-

тающей какое-то среднее содержание ценного компонента значение показателя порционной контрастности с увеличением выхода этой фракции будет снижаться, т.е. появится экстремум, который позволяет определить графическим или математическим путем численное значение оптимальных параметров процесса измельчения руды для определенного метода обогащения (рис. 1, г). Расчет в этом случае показателя порционной контрастности (M_n) производится по формуле:

$$M_n = \frac{\sum_{i=1}^m |(\beta_i - \alpha)| \cdot \gamma_i + |(\beta_{шл} - \alpha)| \cdot \gamma_{шл}}{100 \cdot \alpha},$$

где m – число кусков (фракций), составляющих пробу, без шламовых фракций ценного минерала и вмещающих пород одной; $\beta_{шл}$ – содержание ценного компонента в объединенной шламовой фракции, %; $\gamma_{шл}$ – выход объединенной шламовой фракции от общей массы изучаемой пробы, %.

В целом исследования по оптимизации степени раскрытия при рудоподготовке (дроблении, измельчении) минерального сырья для обогащения как на стадии предварительного обогащения, так в основном цикле с использованием показателя порционной контрастности можно производить в следующем порядке:

- разрушение (дробление или измельчение) проб руды с различными промежутками времени;
- разделение (рассев) разрушенных проб на классы крупности;
- фракционирование, т.е. разделение классов крупности на фракции по содержанию ценного компонента;
- определение граничного диаметра зерен шламовой (в случае дробления мелкой фракции) трудно-

Сводная таблица показателей раскрываемости флюорита при различной степени дробления флюоритовой руды месторождения Бор-Ундур

№ п/п	Наименование показателей	Значения показателей			
		Проба № 1 ($t = 4,0$), ($d_{ном} = 75мм$)	Проба № 2 ($t = 10,0$), ($d_{ном} = 30мм$)	Проба № 3 ($t = 13,6$), ($d_{ном} = 22мм$)	Проба № 4 ($t = 18,75$), ($d_{ном} = 16мм$)
1	Выход класса $-25+5$ мм, %	40,61	77,72	99,26	-
2	Выход класса $-20+5$ мм, %	31,93	47,58	85,85	97,33
3	Выход класса $-16+5$ мм, %	24,48	32,50	65,25	78,50
4	Извлечение CaF_2 в сростковую фракцию ($\epsilon_{ср}$), %	58,11	49,80	42,68	37,09
5	Показатель порционной контрастности в целом всей пробы (M)	0,887	0,980	1,002	1,007
6	Показатель порционной контрастности пробы без класса -5 мм (M_6)	0,893	0,994	1,018	0,959
7	Показатель порционной контрастности пробы с классом -5 мм одной порцией (M_6)	0,852	0,942	0,963	0,645

где t – степень дробления исходной руды номинальной крупностью 300 мм; $d_{ном}$ – номинальная крупность дробления

обогащаемой части, которая определяется технологическими возможностями выбранного обогатительного аппарата и расчет показателя порционной контрастности для каждой пробы с учетом объединения в одну фракцию мелких (шламовых) классов крупности минералов ценного компонента и вмещающих пород;

- построение математической или графической модели зависимости показателя порционной контрастности от продолжительности разрушения и определение оптимальных параметров разрушительного процесса по экстремуму данной зависимости;

- в дальнейшем производиться измельчение или дробление в тех же условиях с выявленной оптимальной степенью разрушения очередной рабочей пробы исследуемой руды, фракционирование и построение кривых контрастности, по которым определяются прогнозные технологические показатели, позволяющие оце-

нить обогатимость и экономическую пригодность изучаемого минерального сырья.

Объектом изучения по данному способу оценки раскрываемости минерального сырья послужили результаты полупромышленных исследований по дроблению пробы флюоритовой руды месторождения Бор-Ундур на ГОКе «Бор-Ундур» СО «Монголросцветмет». Фракционирование производилось по методике [5]. Нижняя граница диапазона крупности лимитировалась нормативными требованиями ГОСТ-29220-91, предъявляемых к плавиковошпатовой кусковой продукции (класса -5 мм не более 10 %).

Обработанные результаты полупромышленных исследований приведены в таблице. Данные таблицы (пункты № 1, 2, 3, 4) характеризуют собой в той или иной форме степень дробимости и раскрываемости изучаемого

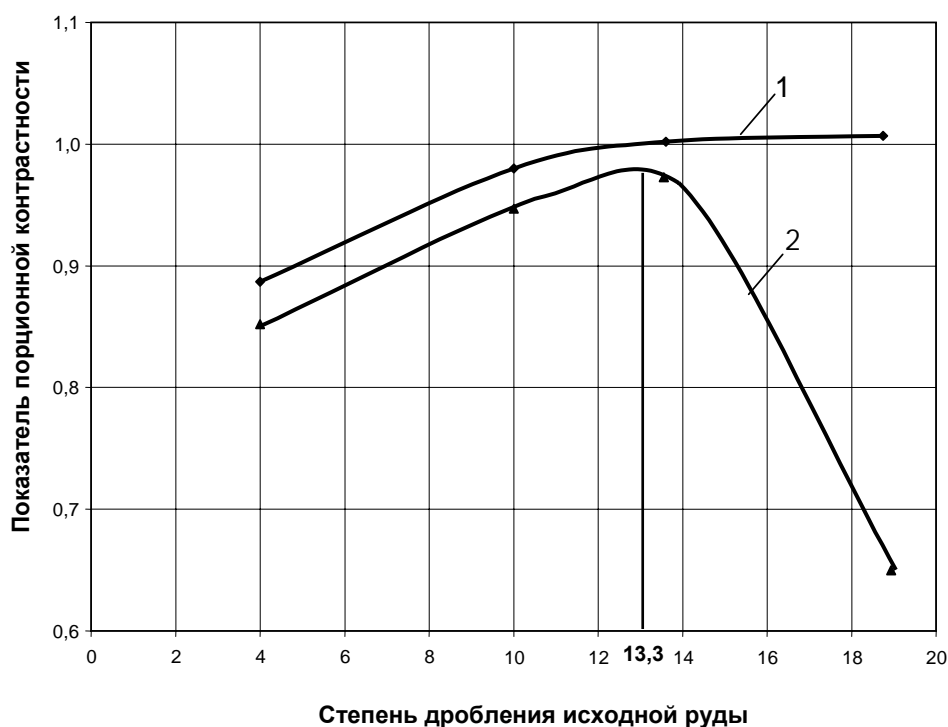


Рис. 2. Графики зависимости показателя порционной контрастности в целом всей пробы (1) и пробы с классом $- 5 + 0$ мм одной порцией (2) от степени дробления руды

флюоритового сырья, но при этом выявить оптимальный диапазон крупности дробления не представляется возможным, т.к. как закономерности функций выходов

Подобная зависимость прослеживается также функцией показателя порционной контрастности в целом всей пробы (пункт 5, табл. 1) от степени дробления (рис. 2 – кривая 1), что логично в связи с очевидной закономерностью – чем больше степень дробления, тем выше степень раскрытия ценного компонента и соответственно показатель контрастности.

При математической обработке результатов фракционирования с учетом мелкой части (класса $- 5 + 0$ мм) дробленных продуктов одной фракцией, числовое значение показателя

контрастности с увеличением выхода этой фракции будет снижаться (пункт 7, табл. 1), т.е. на графической зависимости показателя контрастности от степени дробления руды появится экстремум, который позволяет определить графическим или математическим путем числовое значение оптимальной степени дробления. Для данного сырья оптимальная степень дробления составляет 13,3 (рис. 2 – кривая 2).

Снижение показателя порционной контрастности при степени дробления более 13,3 флюоритовой руды происходит за счет избирательного разрушения (переизмельчения) зерен флюорита и перехода их в мелкие классы дробленного продукта.


С целью проверки полученных результатов была исследована на обогатительной фабрике ГОКа «Бор-Ундур» работа пневматической отсадочной машины МО-105 на исходном питании различной крупности. По результатам сравнительных промышленных испытаний установлено [7], что наиболее высокие технологические показатели обогащения дробленых флюоритовых руд методом отсадки достигаются при классе крупности исходного питания $-20 +5$ мм, что соответствует значению степени дробления выявленной, по выше приведенной методике.

Таким образом, по итогам проведенных теоретических и практических исследований установлено, что пока-

затель порционной контрастности является объективным методическим инструментом для выбора оптимальной крупности подготовительных процессов как на стадии предварительного обогащения, так в основном цикле, использование которого позволит в целом повысить эффективность обогащения минерального сырья.

Кроме того, решение поставленной задачи предоставит возможность определять теоретические прогнозные показатели обогащения минерального сырья по кривым контрастности, построенным на результатах исследований в области максимальной степени раскрытия ценного компонента, и оценивать проектную или действующую технологии переработки данного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ревнивцев В.И. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке / В.И. Ревнивцев. - М.: Недра, 1987.
2. Митрофанов С.И. Исследование полезных ископаемых на обогатимость / С.И. Митрофанов, Л. А. Барский, В. Д. Самыгин - М.: Недра, 1974. - С. 25
3. Исследование полезных ископаемых на обогатимость: метод. указание / сост. О.Н. Белькова, С.Б. Леонов. - Иркутск: ИГТУ, 1996. - 43 с.
4. Аксенова Г.Я. Количественная оценка степени раскрытия минералов при измельчении руд / Г.Я. Аксенова. // Обогащение руд. - СПб.: 2005. - № 3. - С. 14-18).
5. Лагов Б.С. Комбинированная технология обогащения хромитовых руд на основе сочетания радиометрических и гравитационных методов / Б.С. Лагов, Т.В. Башлыкова, Б.С. Лагов [и др.]. // Горный журнал. - 2002. - № 9. С. 39-46.
6. Мокроусов В.А. Контрастность руд, ее определение и использование при оценке обогатимости / В.А. Мокроусов. // Минеральное сырье. - М.: 1960 - Вып. 1.
7. Храмов А.Н. Использование показателя контрастности для оценки обогатимости флюоритовых руд Монголии / А.Н. Храмов. // Горный журнал. - 2002. - № 9. - С. 36-39. 

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Храмов Анатолий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры ОПИиВС Читинского государственного университета (ЧитГУ),
E-mail root@techuniv.chita.ru

