

КРИТЕРИИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ РУДОПОДГОТОВКИ

Г. И. ГАЗАЛЕЕВА, Е. В. БРАТЫГИН (ОАО «Уралмеханобр», РФ),
А. В. КУРКОВ, А. А. РОГОЖИН (ФГУП «ВИМС», РФ)*

Проанализированы критерии селективности дробления, предложен критерий, основанный на результатах оптической микроскопии — определении степени раскрытия полезного минерала. Конечная оценка селективности процесса дробления (критерий селективности L_0) производится расчетом отношения количества свободных зерен полезного минерала в заданном классе крупности дробленого материала к количеству свободных зерен полезного минерала в заданном классе крупности исходного продукта с учетом выхода этого класса. Проверка предложенного критерия произведена при сравнении дробления ниобийсодержащих руд Вишневогорского месторождения в конусной инерционной и центробежной ударной дробилках.

Ключевые слова: критерий селективности, рудоподготовка, оптическая микроскопия, степень раскрытия минерала, гранулометрическая характеристика, конусная инерционная дробилка, центробежная ударная дробилка.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/or.2015.06.01>

Наиболее эффективными методами дезинтеграции минерального сырья являются методы селективного дробления [1], позволяющие производить раскрытие минеральных агрегатов по границам спайности. К таким методам относятся ударное дробление, дробление «в слое» и виброинерционное дробление.

Кроме дробления, на общую эффективность рудоподготовки влияют процессы грохочения и измельчения. Чтобы выбрать оптимальную схему рудоподготовки для конкретного вида сырья, необходимо подобрать оптимальные процессы и оборудование для них, используя соответствующие критерии оптимальности. Данная работа посвящена выбору такого критерия для процесса дробления.

Разработка технологии рудоподготовки обычно начинается с изучения физико-механических свойств руды. К традиционным, принятым в России методам определения физико-механических свойств горных пород относятся:

- определение крепости пород по методам Протодяконовых;
- определение дробимости в щековой (конусной) дробилке;
- определение показателя дробимости V_{\max} и равномерности дробления $\text{tg } \alpha$;
- определение гранулометрических характеристик исходного и дробленого продуктов.

* Газалеева Галина Ивановна — заместитель генерального директора по науке, д-р техн. наук, gazaleeva_gi@umbr.ru; Братыгин Евгений Владимирович — заведующий лабораторией, канд. техн. наук, umbr@umbr.ru; Курков Александр Васильевич — заместитель генерального директора по технологии, д-р техн. наук, профессор, kurkov@vims-geo.ru; Рогожин Александр Алексеевич — 1-й заместитель генерального директора, руководитель отделения, канд. физ.-мат. наук, rogoin@df.ru.

© Газалеева Г. И., Братыгин Е. В., Курков А. В., Рогожин А. А., 2015

Показатели, принятые за рубежом для определения физико-механических свойств горных пород и материалов при дроблении, — это индекс Бонда при дроблении и индекс абразивности Бонда [2, 3].

Если классифицировать данные методы с точки зрения выбора оптимальной схемы рудоподготовки, то их можно разделить на три группы:

- определение прямых прочностных показателей (определение крепости пород по методам Протодяконовых);
- определение косвенных показателей для сравнения с эталоном (определение показателя дробимости V_{\max} и показателя равномерности дробления $\text{tg } \alpha$);
- определение удельных затрат электроэнергии, к которому сводятся все зарубежные методы.

В конечном счете все эти методы основаны на сравнении с эталоном или статистическими данными, а выбор схемы рудоподготовки производится исходя из аналогичной схемы действующего производства. О выборе схемы и оборудования с точки зрения селективности разрушения речи не идет.

Существует подход, предложенный В. И. Ревнищевым [4] и использованный в практических работах «Механобра», а затем развитый Г. Д. Красновым с соавторами [5], где оценка селективности разрушения связывается с результатами последующего обогащения с определением показателя степени концентрации. При этом уже оценивается характер селективности, однако выбор последующего метода обогащения делается на основе практики обогащения подобных руд.

Для оценки эффективности процесса селективного разрушения Э. А. Хопуновым предложено соотношение полной поверхности срастания извлекаемого материала в руде и полной поверхности срастания извлекаемого материала в продуктах разрушения $L = S_{\text{cp}} : S_{\text{п}}$. Такое соотношение, по сути, — коэффициент эффективности энергозатрат, если полагать, что

затраты на раскрытие минералов по поверхности срастания — это необходимые затраты, а остальные затраты отражают эффективность работы того или иного дробильного аппарата с точки зрения превышения энергии по сравнению с необходимой. Для общих рассуждений этот подход понятен, но очевидно схоластичен и для использования при выборе схем рудоподготовки неприемлем из-за отсутствия достоверных методов определения показателей суммарной поверхности срастания минералов в руде.

В последнее время значительное распространение получили методы технологической минералогии и в особенности оптическая микроскопия [6]. Ниже приведена методика определения критерия селективности дробления с использованием оптической микроскопии, предложенная авторами.

Критерий селективности процесса дробления [7] определяется по результатам минералогического анализа степени раскрытия полезного минерала на оптическом микроскопе (рис. 1, пример типа микроскопа) с применением известной отечественной компьютерной программы «Минерал С-7» или ее аналогов [8].

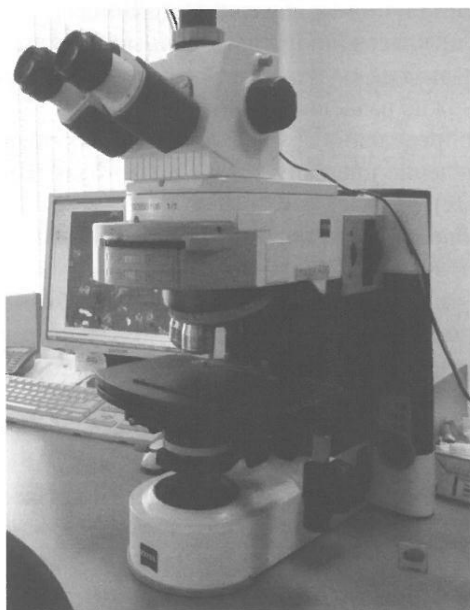


Рис. 1. Оптический микроскоп Axio Imager (Carl Zeiss, Германия)

Для этого из каждого дробленого продукта отбирается проба класса $-2(3)+0$ мм, квартуется и отсеивается на определенные классы крупности. Выбор классов крупности производится на основании предварительного определения степени раскрытия полезного минерала в исходной руде.

Конечная оценка селективности процесса дробления (критерий селективности L_0) [9] производится расчетом отношения количества свободных зерен полезного минерала в заданном классе крупности дробленого материала к количеству свободных зерен полезного минерала в заданном классе крупности исходно-

го продукта. Формула расчета выглядит следующим образом:

$$L_0 = Y_i \frac{N_{ik}}{N_{i0}}, \quad (1)$$

где N_{i0} — количество свободных зерен полезного минерала в заданном классе крупности исходного материала; N_{ik} — количество свободных зерен полезного минерала в заданном классе крупности дробленого или измельченного продукта; i — заданный класс крупности ($-2(3)+0$ мм); Y_i — выход i -го класса в дробленном продукте.

В случае, когда широкий класс крупности ($-2(3)+0$ мм) разделяется на узкие классы и в них также определяется количество свободных зерен и сростков полезного минерала, формула (1) приобретает следующий вид:

$$L_0 = Y_i \frac{\sum N_{ik}}{\sum N_{i0}}. \quad (2)$$

Физический смысл данной формулы заключается в суммировании содержания свободных зерен полезного минерала узких классов как для исходного материала, так и для продукта дробления. Наибольшая селективность дробления достигается при максимальном значении критерия L_0 .

Ниже приведены результаты проверки предлагаемой методики, которая проводилась в условиях лаборатории ОАО «Уралмеханобр» на пробе ниобийсодержащей руды Вишневогорского месторождения, расположенного на Южном Урале.



Рис. 2. Общий вид дробилки КИД-300А



Рис. 3. Общий вид дробилки ДЦ-05

Последовательность проведения исследований по выбору метода дробления с учетом возможности селективного вскрытия редкого минерала пирохлора была следующей:

- определялся гранулометрический состав пробы по классам крупности на ситах 25; 22,5; 20; 17,5; 15; 12,5; 10; 7,5; 5; 3; 2; 1,25; 1; менее 1 мм; далее рассев производился на ситах аппарата «Ротап»: 2,5; 2,0; 1,6; 0,8; 0,63; 0,315; 0,200; 0,160; 0,100; 0,063; 0,050 и менее 0,050 мм;

- затем проводились собственно эксперименты по подбору режимов для каждого вида дробления, а именно:

- в дробилке КИД* [10, 11] (рис. 2) проводилась серия экспериментов по подбору режимных параметров работы, таких как положение дебаланса (изменение угла поворота) и окружная скорость вращения конуса. При этом замерялся удельный расход электроэнергии в каждом опыте прямым способом с подключением прибора в электрическую цепь привода дробилки;

- в дробилке ДЦ-05 [12] (рис. 3) проводились опыты с изменением скорости вращения ускорителя частотным преобразователем. Значения скоростей составляли 16,67 (режим 1) и 23,33 с⁻¹ (режим

2). При этом также замерялся удельный расход электроэнергии в каждом опыте прямым способом.

В табл. 1, 2 представлены результаты экспериментов по выбору режимов работы дробилок КИД-300А и ДЦ-05. Гранулометрические характеристики материала после дробления приведены на рис. 4, 5.

При подборе режимов работы дробилки КИД-300А испытывались шесть режимов дробления. Исследовалось три положения дебаланса с замером угла его поворота a (0°, 60° и 120°) и две скорости n (18,93 и 23,67 с⁻¹).

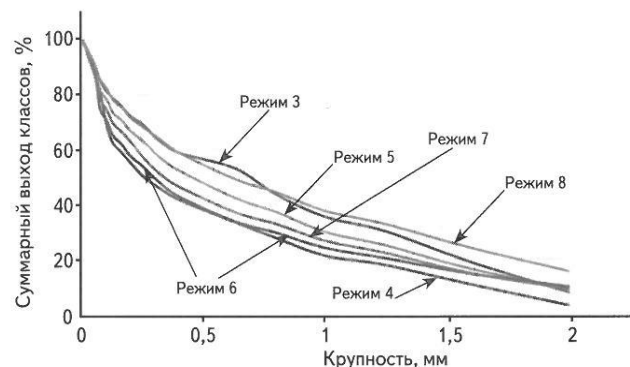


Рис. 4. Кумулятивные кривые гранулометрических характеристик по «+» в зависимости от режима работы КИД-300А

Таблица 1
Результаты экспериментов по подбору режимов дробления в конусной инерционной дробилке КИД-300А

Параметры	Номер режима					
	3	4	6	5	7	8
n, c^{-1}	18,93	23,67	18,93	23,67	18,93	23,67
$a, град$	0	0	60	60	120	120
Выход классов крупности (мм), %						
+2	7,88	3,16	10,02	9,03	15,48	9,01
-2+1,6	10,98	7,59	4,67	7,36	8,49	5,76
-1,6+1,25	11,24	7,06	5,67	8,56	8,66	7,40
-1,25+1	5,33	3,45	3,78	4,92	4,88	4,49
-1+0,8	8,02	6,42	5,50	7,27	6,77	6,06
-0,8+0,63	9,58	5,75	4,07	5,07	4,80	4,32
-0,63+0,4	5,70	8,13	9,00	9,92	9,57	9,20
-0,4+0,315	4,50	4,42	5,44	5,21	5,34	5,13
-0,315+0,25	5,82	4,10	5,55	5,63	4,02	5,73
-0,25+0,2	2,96	4,82	3,72	3,62	3,38	5,50
-0,2+0,16	3,78	4,07	4,53	4,13	4,08	3,94
-0,16+0,125	3,05	3,40	3,23	2,80	2,61	3,03
-0,125+0,1	2,14	6,04	5,36	4,66	4,21	4,81
-0,1+0,071	4,40	13,15	4,64	3,57	3,43	4,49
-0,1+0,05	5,61	5,75	12,88	6,24	5,22	8,29
0,05	9,00	12,68	11,92	12,01	9,09	12,84
Всего	100	100	100	100	100	100
$Q, кг/ч$	1728,00	2016	1857,6	2252,16	1670,4	2160
$W_{cp}, кВт$	11,6	16,9	12,6	14	13,8	15,1
P_{80}	1,60	1,1	1,45	1,25	1,6	1,3

* КИД — защищенный товарный знак конусной инерционной дробилки «Механобра».

Исходя из наибольшей степени дробления [12], наилучшим является режим 4 — без поворота дебаланса, при скорости вращения конуса 23,67 с⁻¹. Одна-

Таблица 2
Результаты экспериментов по дроблению ниобиевой руды в ударной центробежной дробилке ДЦ-05

Класс крупности, мм	Выход класса крупности, %, при скорости вращения ускорителя, с ⁻¹			
	16,67		23,33	
	Частный	Суммарный	Частный	Суммарный
+12,5	0	0	5	5
-12,5+10	9,81	9,8	14	19
-10+7,5	8,37	18,2	14	33
-7,5+5	13,30	31,5	7	40
-5+3	16,78	48,3	9	49
-3+2,5	0,30	48,6	0,5	49,5
-2,5+2	0,03	48,6	0,3	49,8
-2+1,25	0,05	48,6	5,2	55
-1,25+1	2,13	50,8	5	60
-1+0,63	12,18	62,9	6	66
-0,63+0,5	3,46	66,4	4	70
-0,5+0,4	5,83	72,2	5	75
-0,4+0,315	4,01	76,2	5	80
-0,345+0,2	7,10	83,3	6	86
-0,2+0,16	2,81	86,2	4,1	90,1
-0,16+0,1	4,67	90,8	2,9	93
-0,1+0,071	1,74	92,6	2,2	95,2
-0,071+0,05	2,28	94,8	3,1	98,3
-0,05+0	5,16	100	1,7	100

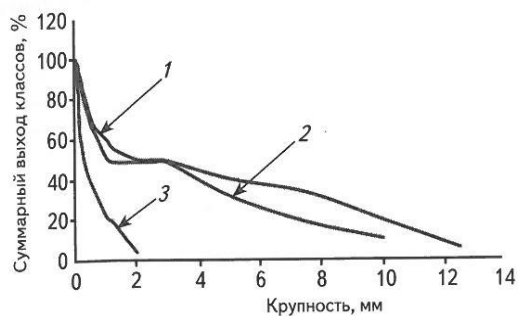


Рис. 5. Сравнительные гранулометрические характеристики конечных продуктов дробления в дробилках ДЦ-05 (1, 2) и КИД-300А (3)

Таблица 3
Массовая доля свободных зерен минералов и зерен минералов, находящихся в сростках, в исходной пробе ниобиевой руды Вишневогорского месторождения

Класс крупности, мм	Массовая доля пироклора, %		Массовая доля прочих минералов, %	
	Свободные зерна	Сростки с прочими минералами	Свободные зерна	Сростки с пироклором
-0,050	100	—	100	—
+0,05-0,2	90	10	100	<1
+0,2-0,8	82	18	100	<1
+0,8-2	42	58	100	<1

Таблица 4
Массовая доля свободных зерен минералов и зерен минералов, находящихся в сростках, в пробах дробленых продуктов ниобиевой руды Вишневогорского месторождения*

Класс крупности, мм	Массовая доля пироклора, %		Массовая доля прочих минералов, %	
	Свободные зерна	Сростки с прочими минералами	Свободные зерна	Сростки с пироклором
ДЦ, режим 2				
-0,050	100	—	100	—
+0,05-0,2	100	<1	100	<1
+0,2-0,8	94	6	100	<1
+0,8-2	72	28	100	<1
ДЦ, режим 1				
-0,050	100	—	100	—
+0,05-0,2	100	<1	100	<1
+0,2-0,8	92	8	100	<1
+0,8-2	69	31	100	<1
КИД, режим 4				
-0,050	100	—	100	—
+0,05-0,2	100	<1	100	<1
+0,2-0,8	95	5	100	<1
+0,8-2	79	21	100	<1
КИД, режим 3				
-0,050	100	—	100	—
+0,05-0,2	100	<1	100	<1
+0,2-0,8	94	6	100	<1
+0,8-2	74	26	100	<1
КИД, режим 5				
-0,050	100	—	100	—
+0,05-0,2	100	<1	100	<1
+0,2-0,8	97	3	100	<1
+0,8-2	71	29	100	<1
КИД, режим 6				
-0,050	100	—	100	—
+0,05-0,2	100	<1	100	<1
+0,2-0,8	95	5	100	<1
+0,8-2	66	34	100	<1
КИД, режим 7				
-0,050	100	—	100	—
+0,05-0,2	100	<1	100	<1
+0,2-0,8	95	5	100	<1
+0,8-2	77	23	100	<1
КИД, режим 8				
-0,050	100	—	100	—
+0,05-0,2	100	<1	100	<1
+0,2-0,8	97	3	100	<1
+0,8-2	81	19	100	<1

* Среди прочих минералов отмечается наличие кварца, полевого шпата, биотита и других силикатов. Знак «—» означает, что соответствующего вида зерен при минералогическом анализе обнаружено не было. Анализ проводился оптико-геометрическим методом на оптическом микроскопе Axio Imager.

Результаты определения критерия селективности L_0 при дроблении ниобиевой руды Вишневогорского месторождения в дробилках ДЦ-05 и КИД-300А

Режим	ДЦ, 1	ДЦ, 2	КИД, 3	КИД, 4	КИД, 5	КИД, 6	КИД, 7	КИД, 8
L_0 , ед.	0,874	0,821	1,709	1,730	1,521	1,430	1,558	1,755

ко для определения селективности дробления необходимо оценить степень раскрытия пироклора.

Сравнение гранулометрических характеристик конечных продуктов дробилок ДЦ-05 и КИД-300А после дробления ниобиевой руды Вишневогорского месторождения показывает значительное преимущество дробилки КИД-300А по степени дробления.

В табл. 3, 4 представлены результаты определения степени раскрытия пироклора в классах менее 2,0 мм в исходном продукте и продуктах дробления при разных режимах работы дробилок КИД и ДЦ.

Критерий селективности дробления L_0 рассчитывался по формуле (1) для общего класса менее 2,0 мм. Исходные данные для расчета были взяты из табл. 3 и 4 (N_{10} и N_{100}). Результаты расчета приведены в табл. 5.

Сравнение значений критерия селективности при дроблении в дробилках КИД и ДЦ показало, что у дробилки КИД эти значения существенно выше (1,43–1,755 ед.), чем у дробилки ДЦ (0,82–0,87 ед.). Наиболее эффективный режим работы для дробилки КИД-300А с точки зрения обеспечения селективности дробления ниобиевых руд Вишневогорского месторождения — режим 8: угол поворота дебаланса — 120° , окружная скорость вращения конуса — $23,67 \text{ с}^{-1}$, удельный расход электроэнергии — $6,99 \text{ кВт/т}$.

Таким образом, наилучшим аппаратом для дробления ниобиевых руд Вишневогорского месторождения с точки зрения степени селективности и степени дробления является дробилка КИД.

Выводы

1. Проведен анализ различных методов и критериев выбора технологических схем рудоподготовки с точки зрения их наилучшей селективности. Предложен критерий селективности L_0 , основанный на данных оптической микроскопии.

2. Сравнение гранулометрических характеристик продуктов дробления в дробилках ДЦ-05 и КИД-300А ниобиевой руды Вишневогорского месторождения показало значительное преимущество дробилки КИД-300А по степени дробления.

3. Сравнение критерия селективности дробления L_0 для дробилок КИД и ДЦ показало, что дробилка КИД имеет уровень критерия селективности при дроблении коренных ниобиевых руд Вишневогорского месторождения значительно выше, чем дробилка ДЦ. Для дробилки КИД критерий L_0 составляет 1,43–1,755 ед., в то время как для дробилки ДЦ только 0,82–0,87 ед.

4. Наилучший режим дробления для дробилки КИД-300А с точки зрения обеспечения селективности следующий: угол поворота дебаланса — 120° , окружная скорость вращения конуса — $23,67 \text{ с}^{-1}$, удельный расход электроэнергии — $6,99 \text{ кВт/т}$.

Список литературы

- Jankovic A., Valery W. Advances in ore comminution practice over the last 25 years // Proceedings of the XVI Balkan Mineral Processing Congress. Belgrade, Serbia. June 17–19, 2015. Vol. I. P. 123–130.
- Дробление и сортировка: Справочник / Metso Minerals, Финляндия. CVL, Россия. 2007. 148 с.
- Hosseinzadeh Gharehgheshlagh H. Differences between estimated breakage distribution function via single particle breakage and bed breakage methods // Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress. Sozopol, Bulgaria. June 12–16, 2013. Vol. I. P. 192–196.
- Селективное разрушение материалов / В. И. Ревнивцев, Г. В. Гапонов, Л. П. Зарогатский, И. М. Костин, Г. А. Финкельштейн, Э. А. Хопунов, В. П. Яшин. М.: Недра, 1988. 286 с.
- Краснов Г. Д., Чихладзе В. В. Особенности разрушения минералов, измельченных различными методами // Проблемы дезинтеграции минерального и техногенного сырья в горной промышленности и строительной индустрии: Материалы II Междунар. науч.-практ. семинара памяти В. А. Олевского. 4–8 декабря 2009 г. Ставрополь. С. 12–23.
- Чантурия В. А., Вайсберг Л. А., Козлов А. П. Приоритетные направления исследований в области переработки минерального сырья // Обогащение руд. 2014. № 2. С. 3–9.
- Скамницкая Л. С., Светова Е. Н., Светов С. А. Минералого-технологические особенности кварцевых конгломератов Карелии как нетрадиционного источника кварцевого сырья // Там же. С. 36–42.
- Griesdorn M. New possibilities to influence pellet properties by photo-optical particle analyses // Proceedings of the XVI Balkan Mineral Processing Congress. Belgrade, Serbia. June 17–19, 2015. Vol. I. P. 115–123.
- Газалеева Г. И., Мамонов С. В., Ельникова С. П. Механизм разрушения горных пород и использование его в нетрадиционных способах рудоподготовки // Материалы междунар. совещ. «Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья» (Плаксинские чтения). Алматы. 16–19 сентября 2014 г. С. 114–117.
- Вайсберг Л. А., Зарогатский Л. П., Туркин В. Я. Вибрационные дробилки. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 306 с.
- Savov S., Nedyalkov P., Mochev D. Particle size distributions of one cone inertial crusher (KID-300) products // Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress. Sozopol, Bulgaria. June 12–16, 2013. Vol. I. P. 150–154.
- Мальцев В. А., Свитов В. С. Техника и технология ударного центробежного дробления // Горные машины и автоматика. 2004. № 3. С. 38–40.

THE CRITERIA FOR CHOOSING OPTIMUM ORE PREPARATION FLOW SHEETS

- 1) GAZALEEVA Galina Ivanovna; 2) JSC «Uralmekhanobr» (Russia); 3) Doctor of Engineering Sciences; 4) Deputy Director General for Science; 5) gazaleeva_gi@umbr.ru;
 1) BRATYGIN Evgeniy Vladimirovich; 2) JSC «Uralmekhanobr» (Russia); 3) Ph. D. in Engineering Sciences; 4) Head of Laboratory; 5) umbr@umbr.ru;
 1) KURKOV Aleksandr Vasilievich; 2) All-Russian Scientific Research Institute of Mineral Resources named after N. M. Fedorovsky (Russia); 3) Doctor of Engineering Sciences, Professor; 4) Deputy Director General for Technology; 5) kurkov@vims-geo.ru;
 1) ROGOZHIN Aleksandr Alekseevich; 2) All-Russian Scientific Research Institute of Mineral Resources named after N. M. Fedorovsky (Russia); 3) Ph. D. in Physics and Mathematics; 4) First Deputy Director General, Head of Department; 5) rogojin@df.ru.

1) Surname, name, patronymic; 2) Job; 3) Academic degree and knowledge; 4) Position; 5) Contacts.

The paper presents a review of the criteria for choosing optimum ore preparation flow sheets. The authors analyzed the criteria for selectivity of crushing; a criterion, based on the results of optical microscopy – determination of valuable mineral liberation degree, is proposed. The final estimate of crushing process selectivity (selectivity criterion L_0) is performed through calculation of the ratio between quantity of free grains of valuable mineral in given size fraction of crushed material and quantity of free grains of valuable mineral in given size fraction of feed, taking into consideration yield of the size fraction in question. In addition to that, estimate of a specific crushing apparatus optimality of application is performed preliminarily by maximum reduction ratio of material, which is determined by size distribution in feed and crushed products, however, priority is given to maximum selectivity criterion. Verification of the proposed criterion was accomplished by comparison of the Vishnevogorskoye deposit niobium-bearing ores crushing in inertia cone crusher and centrifugal impact crusher. Also, various operating regimes of the crushers were tested. Comparison of selectivity criterion L_0 showed, with crushing in inertia cone crusher (ICC) its value is significantly higher, than in crushing in centrifugal impact crusher (CIC). For CIC crusher, criterion L_0 is 0.82–0.87 units, while for ICC – 1.43–1.755 units. The most efficient operating regime for crusher ICC-300A, from viewpoint of providing the Vishnevogorskoye deposit niobium-bearing ores selectivity of crushing, is as follows: unbalanced mass slewing angle – 120°, rotary velocity of cone rotation – 23,67 s⁻¹, specific power consumption – 6.99 kW/t.

Key words: selectivity criterion, ore preparation, optical microscopy, degree of mineral liberation, size distribution, inertia cone crusher, centrifugal impact crusher.

References

1. Jankovic A., Valery W. Advances in ore comminution practice over the last 25 years. Proceedings of the XVI Balkan Mineral Processing Congress, Belgrade, Serbia, June 17–19, 2015, Vol. I, pp. 123–130.
2. *Droblenie i sortirovka. Spravochnik* (Crushing and screening. Reference book). Metso Minerals, Finland, CVL, Russia, 2007, 148 pp.
3. Hosseinzadeh Gharehgheshlagh H. Differences between estimated breakage distribution function via single particle breakage and bed breakage methods. Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress, Sozopol, Bulgaria, June 12–16, 2013, Vol. I, pp. 192–196.
4. Revnivtsev V. I., Gaponov G. V., Zarogatskiy L. P., Kostin I. M., Finkelshteyn G. A., Khopunov E. A., Yashin V. P. *Selektivnoye razrushenie materialov* (The selective destruction of materials). Moscow, Nedra, 1988, 286 pp.
5. Krasnov G. D., Chikhhladze V. V. Features of destruction of minerals crushed by different methods. *Problemy dezintegratsii mineralnogo i tekhnogennogo syrya v gornoy promyshlennosti i stroitelnoy industrii. Materialy II Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminara pamyati V. A. Olevskogo* (Problems of disintegration of mineral and technogenic raw materials in the mining and construction industries. Proceedings of the International scientific and practical seminar in memory of V. A. Olevskiy). December 4–8, 2009, Stavropol, pp. 12–23.
6. Chanturiya V. A., Vaysberg L. A., Kozlov A. P. Promising trends in investigations aimed at all-round utilization of mineral raw materials. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*, 2014, No. 2, pp. 3–9.
7. Skamnitskaya L. S., Svetova Ye. N., Svetov S. A. Mineralogical-technological specialties of karelian quartz conglomerates as a nonconventional source of quartz material. *Ibidem*, 2014, No. 2, pp. 36–42.
8. Griesdorn M. New possibilities to influence pellet properties by photo-optical particle analyses. Proceedings of the XVI Balkan Mineral Processing Congress, Belgrade, Serbia, June 17–19, 2015, Vol. I, pp. 115–123.
9. Gazaleeva G. I., Mamonov S. V., Yelnikova S. P. The mechanism of rocks destruction and its use in non-traditional methods of ore dressing. *Materialy mezhdunarodnogo soveshchaniya «Progressivnyye metody obogashcheniya i kompleksnoy pererabotki prirodnogo i tekhnogennogo mineralnogo syrya (Plaksinskie chteniya)* (Proceedings of the International conference «Progressive methods of enrichment and complex processing of natural and technogenic mineral raw materials» (Plaksin Readings)), September 16–19, 2014, Almaty, pp. 114–117.
10. Vaisberg L. A., Zarogatskiy L. P., Turkin V. Ya. *Vibratsionnyye drobilki* (Vibratory crushers). Saint Petersburg, VSEGEI Publishing House, 2004, 306 pp.
11. Savov S., Nedyalkov P., Mochev D. Particle size distributions of one cone inertial crusher (KID-300) products. Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress, Sozopol, Bulgaria, June 12–16, 2013, Vol. I, pp. 150–154.
12. Maltsev V. A., Svitov V. S. Technique and technology of centrifugal impact crushing. *Gornyye mashiny i avtomatika*, 2004, No. 3, pp. 38–40.