

УДК 622.7

## **МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТОНКИХ ШЛАМОВ В ПРОДУКТАХ РУДОПОДГОТОВКИ РУД РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ И ВЛИЯНИЕ ИХ НА ВЫБОР СХЕМ**

**Газалеева Г.И.<sup>1</sup>, Братыгин Е.В.<sup>1</sup>, Демин А.И.<sup>1</sup>, Курков А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, <sup>2</sup> ФГУП «Всероссийский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского», г. Москва, Россия

Образование тонких шламов в процессе рудоподготовки неизбежно [1]. Этот процесс зависит от двух факторов: природной шламуемости руды и применяемого оборудования и схем рудоподготовки. На первый фактор повлиять невозможно, поэтому усилия обогатителей направлены на максимальное снижение влияния используемого оборудования и технологий на процесс ошламования руды в технологических переделах.

Традиционно за тонкие шламы принимается класс крупности менее 0,05 мм (50 мкм). Однако в настоящее время существует современное оборудование, которое имеет возможность определять содержание более тонких классов в продуктах дезинтеграции. К такому оборудованию относятся лазерные гранулометры, способные измерять размеры частиц и гранулометрический состав пробы до 1,0 и 0,5 мкм. Предложенная авторами методика основана на сравнении продуктов дробления и измельчения различных аппаратов по содержанию классов менее 50 и 5 мкм, определенных на лазерном гранулометре.

Доказано, что наиболее эффективные методы дезинтеграции минерального сырья – методы селективного дробления, позволяющие проводить вскрытие частиц при максимальном использовании методов разрушения по границам спайности минералов [2]. Такие методы принято называть специальными методами дезинтеграции, используются они в 3-й и 4-й стадиях дробления.

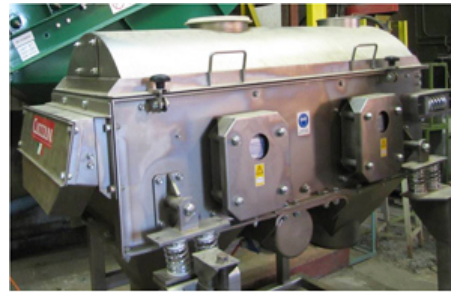
Выбор оптимальных методов дробления проводится по трем основным параметрам: степени дробления, критерию селективности, определяемому по степени раскрытия полезного минерала, и степени ошламования.

Исследования выполнены в лабораторных и полупромышленных условиях ОАО «Уралмеханобр» на примере ниобийсодержащей руды Вишневогорского месторождения, расположенного на Южном Урале. Основной полезный минерал данной руды – пирохлор.

Испытания проводились в центробежной мельнице ЦОМ (рис. 1) при двух скоростных режимах работы – окружной скорости ротора 6000 и 10 500 об/мин. В схеме замкнутого цикла мельницы ЦОМ в качестве аппарата для сухой классификации материала применялся грохот Kroosh с ситом размером 0,2 мм (рис. 2).

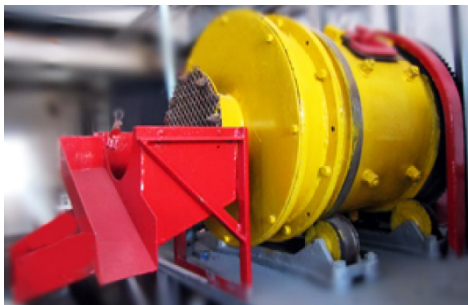


**Рисунок 1 – Общий вид мельницы ЦОМ**



**Рисунок 2 – Грохот ULSTM 1.5x0.6-E компании "Kroosh Technologies Ltd"**

Для сравнения с мельницей ЦОМ использовалась стандартная стержневая мельница (рис. 3). Исследовалась кинетика процесса измельчения. Кроме того, исследовался процесс грохочения на многочастотном мокром грохоте тонкого грохочения DERRICK Stack Sizer также с применением сита размером 0,2 мм (рис. 4). Результаты оценивались по гранулометрическим характеристикам конечных продуктов в сравнении со схемой с применением сухого центробежного измельчения в мельнице ЦОМ. Также сравнивались количество и гранулометрический состав шламов – частиц крупностью менее 50 и 5 мкм.

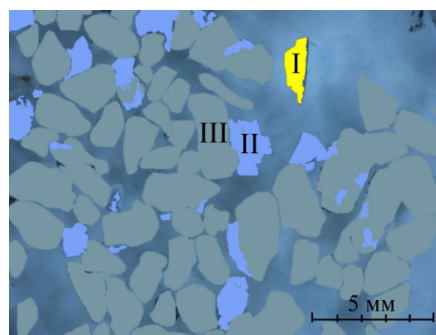


**Рисунок 3 – Лабораторная стержневая мельница**



**Рисунок 4 – Грохот DERRICK Stack Sizer**

На рис. 5 представлен пример вида исследуемой фракции.



**Рисунок 5 – Проба исходной руды кл. – 2,0 + 0,8 мм. Общий вид зерен пробы с наложенными цветовыми маркерами: пирохлор (I), темноцветные (II) и светлоцветные (III) силикаты**

Оценка ошламования продуктов дробления различных дробилок осуществлялась путем анализа содержания в классе менее 2 мм фракций крупности менее 50 и 5 мкм по лазерному гранулометру. Наилучшие показатели с точки зрения низкого ошламования дает дробилка ДЦ, но она не подходит по показателям раскрытия минерала ниобия (пирохлора). Таким образом, самое низкое ошламование как по содержанию фракции менее 50 мкм (27,3%), так и менее 5 мкм (7,22%) дает дробилка КИД при работе в следующем режиме: угол поворота дебаланса 120°, окружная скорость вращения конуса 1420 об/мин, удельный расход электроэнергии 6,99 кВт/т. Гранулометрические характеристики, полученные при измельчении исходного продукта в мельнице ЦОМ, представлены в табл. 1.

**Таблица 1 – Результаты рассева продукта установившегося режима в мельнице ЦОМ**

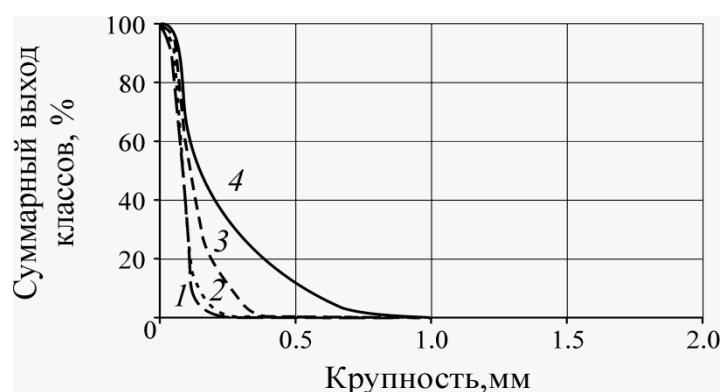
Класс, мм	Выход, %			
	частный		суммарный	
	6 000 об/мин	10 500 об/мин	6 000 об/мин	10 500 об/мин
+ 2	1.88	—	1.88	—
– 2 + 1.6	1.64	—	3.51	—
– 1. 6 + 1.25	3.41	0.51	6.92	0.51
– 1.25 + 1	2.81	0.75	9.73	1.26
– 1 + 0.8	5.37	1.20	15.10	2.46
– 0.8 + 0.63	4.67	2.20	19.77	4.66
– 0.63 + 0.4	13.02	3.20	32.79	7.86
– 0.64 + 0.315	8.88	4.10	41.68	11.96
– 0.315 + 0.25	10.55	5.44	52.23	17.40
– 0.25 + 0.2	6.95	6.25	59.18	23.65
– 0.2 + 0.16	9.89	12.21	69.07	35.86
– 0.16 + 0.125	4.89	20.55	73.96	56.41
– 0.125 + 0.1	6.38	7.66	80.35	64.07
– 0.1 + 0.071	3.90	15.02	84.25	79.09
– 0.071 + 0.05	6.92	7.20	91.17	86.29
– 0.05 + 0	8.83	13.71	100.00	100.00
	100	100		

Результаты исследований показали, что наилучшим режимом работы мельницы ЦОМ для раскрытия минералов ниобия является режим с окружной скоростью ротора 10 500 об/мин. При таком режиме содержание готового класса составляет 76,35% в отличие от режима с окружной скоростью ротора 6 000 об/мин, при котором данный показатель равен 40,82%.

Кинетика измельчения ниобиевого продукта Вишневогорского месторождения в стержневой мельнице представлена в табл. 2 и на рис. 6. Рисунок отражает гранулометрические характеристики после измельчения в стержневой мельнице при различном времени помола. Время измельчения составляло 6, 10, 20 и 30 мин.

**Таблица 2 – Результаты исследования кинетики измельчения в лабораторной стержневой мельнице ниобиевых продуктов Вишневогорского месторождения**

Класс крупности, мм	Время измельчения, мин			
	6	10	20	30
+ 2	0.0631	0.0000	0.0000	0.0000
- 2 + 1.6	0.0738	0.0000	0.0000	0.0000
- 1.6 + 1.25	0.1415	0.0091	0.0000	0.0000
- 1.25 + 1	0.3138	0.0106	0.0000	0.0000
- 1 + 0.8	2.0260	0.0454	0.0000	0.0000
- 0.8 + 0.63	4.8226	0.0696	0.0000	0.0000
- 0.63 + 0.4	17.5307	0.3993	0.0530	0.0279
- 0.4 + 0.315	25.7084	3.4846	0.1116	0.0860
- 0.315 + 0.25	39.8086	17.9537	2.6719	0.6493
- 0.2 + 0.16	47.1403	28.0777	6.9239	2.7326
- 0.16 + 0.125	52.6259	36.4534	13.5479	8.9396
- 0.125 + 0.1	62.0020	48.0838	36.0059	31.0866
- 0.1 + 0.071	87.3458	79.7641	84.7056	70.2679
- 0.1 + 0.05	96.8911	95.1603	97.2056	90.7185
0	100	100	100	100

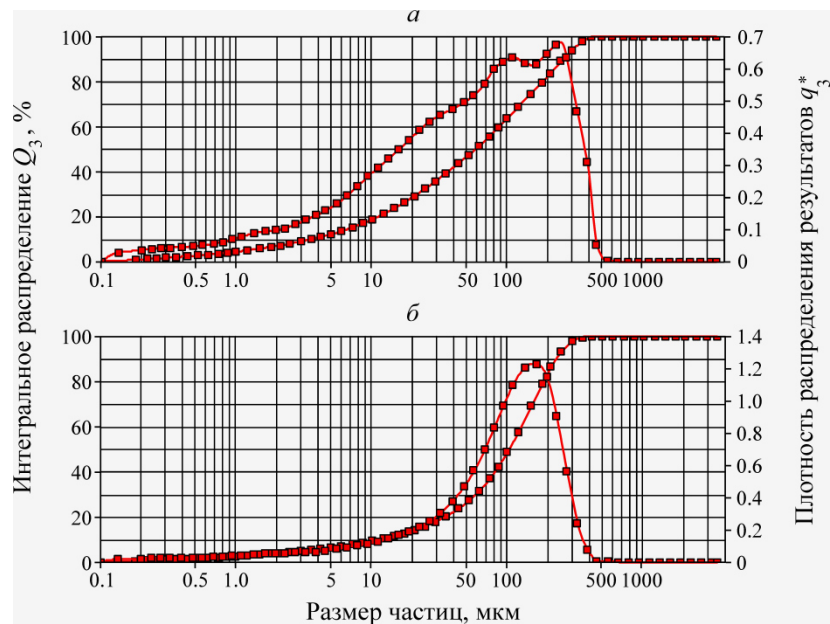


**Рисунок 6 – Кинетика измельчения в стержневой мельнице, мин:  
1 – 6; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30**

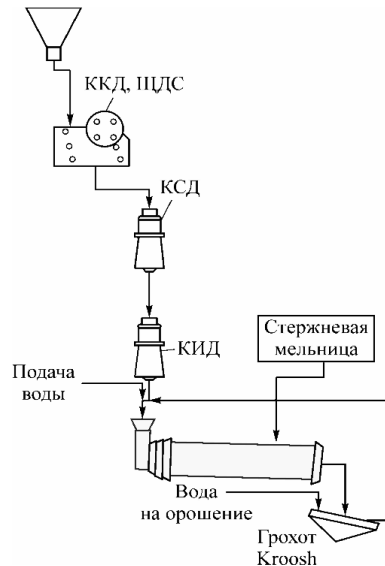
Исследование кинетики измельчения в лабораторной стержневой мельнице показало, что оптимальный кинетический режим измельчения равен 20 мин. Сравнение исследуемых схем измельчения проводилось по результатам определения гранулометрических характеристик на лазерном гранулометре (рис. 7).

Исходя из анализа результатов для измельчения ниобиевых руд рекомендуется использование стержневой мельницы. Степень ошламования в ней по фракциям менее 50 и 5 мкм составляет соответственно 27,15 и 6,34 %, что в 1,7 и 1,9 раз ниже, чем в центробежной мельнице ЦОМ. Выбор общей технологической схемы рудоподготовки с применением специальных методов для ниобиевых руд Вишневогорского месторождения основан на использовании оборудования, обеспечивающего наибольшую степень селективности при дроблении (дробилка КИД – 3-я стадия дробления) и

наименьшую степень ошламования при измельчении (стержневая мельница). Предлагаемая технологическая схема рудоподготовки приведена на рис. 8.



**Рисунок 7 – Гранулометрический анализ продуктов измельчения в мельнице (лазерный анализатор):  
а — центробежной; б — стержневой**



**Рисунок 8 – Предлагаемая оптимальная схема рудоподготовки ниобиевых руд Вишневогорского месторождения**

#### Литература

1. Ревнивцев В.И., Гапонов Г.В., Зарогатский Л.П. и др. Селективное разрушение минералов. — М.: Недра, 1988.
2. Газалеева Г.И., Цыпин Е.Ф., Червяков С.А. Рудоподготовка. Дробление, грохочение, обогащение. — Екатеринбург: Уральский центр академического обслуживания, 2014.