

при проектной крупности готового продукта измельчения 85% класса -0,071 мм.

За 100 лет своего существования институт Механообр добился значительных успехов и внёс существенный вклад в развитие рудоподготовительных процессов благодаря плодотворному труду: И.М. Абрамовича, Э.А. Вестфала, Б.Н. Дубровина, А.И. Загустина, Г.Г. Егорова, Т.И. Капустиной, И.Н. Качана, И.И. Кудрякова, Н.Н. Котляра, Е.И. Культина, М.Я. Кутовского, Д.Н. Лифлянда, И.Г. Протасова, А.К. Рундквиста, А.Г. Тунцова, М.Н. Широкинского, В.А. Олевского и в позднее время Ю.Э. Аккермана, М.Т. Апхипцева, Н.В. Бессонниковой, Л.Ф. Биленко, И.А. Бирюковой, Л.И. Блехмана, А.В. Бортникова, В.М. Вайсберга, Л.А. Вайсберга, Ю.Г. Гусарова, Л.А. Евецкой, Н.А. Егоровой, Т.В. Зверевой, М.Н. Казённова, Я.П. Корниенко, И.М. Костина, Н.А. Лозовской, Т.С. Рассветаловой, В.И. Ревнивцева, Е.С. Савичевой, В.А. Туманяна, Б.К. Царева, В.П. Яшина и многих других специалистов.

К ВЫБОРУ КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ РУДОПОДГОТОВКИ

*Г.И. Газалеева*¹, *Е.В. Братыгин*¹, *А.В. Курков*², *А.А. Рогожин*²

¹ «Уралмеханообр», г. Екатеринбург, ² ВИМС им. Н.М. Федоровского, Москва, Россия
umbr@umbr.ru, kurkov@vims-geo.ru

The article highlights the analysis of methods and criteria for the selection of optimal ore preparation schemes. The new criterion is offered, the definition of which is done by results of an optical microscopy-the estimation of a valuable mineral release degree. As a sliming criterion the content of size grades less than 50 and 5 μm is taken determined at an up-to-date laser granulometer.

Известно, что наиболее эффективными методами дезинтеграции минерального сырья являются методы селективного дробления, позволяющие производить вскрытие частиц при максимальном использовании методов разрушения по границам спайности минералов. К специальным методам дезинтеграции относятся такие виды дробления, как ударное, дробление «в слое» и вибро-инерционное дробление. Кроме способа дробления на эффективность процесса рудоподготовки влияют процессы грохочения и измельчения. Чтобы выбрать оптимальную схему рудоподготовки для того или иного вида сырья необходимо подобрать оптимальные процессы и оборудование для дробления, грохочения и измельчения, используя при этом соответствующие критерии оптимальности.

Если классифицировать известные методы выбора схем рудоподготовки с точки зрения выбора оптимальной схемы рудоподготовки, то их можно разделить на три класса:

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

В конечном итоге, все эти методы основаны на сравнении с эталоном или статистическими данными, а выбор схемы рудоподготовки производится, исходя из аналогичной схемы действующего производства. В настоящей работе предлагается выбор оптимальной

схемы рудоподготовки базировать на трех показателях, которые определяются непосредственно в результате экспериментов: гранулометрических характеристиках исходных и конечных продуктов с определением степени дробления; критериях селективности процессов дробления; степени ошламования продуктов.

Метод не исключает использование традиционных физико-механических показателей и индексов, но является более объективным.

Дробление. Критерий селективности процесса дробления определяется по результатам минералогического анализа степени раскрытия полезного минерала на оптическом микроскопе с применением известной отечественной компьютерной программы «Минерал С-7» или ее аналогов.

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. 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 -того класса в дробленном продукте.

Ниже приведены результаты проверки предлагаемой методики. Исследования были проведены в условиях лаборатории ОАО «Уралмеханобр» на пробе ниобийсодержащей руды Вишневогорского месторождения, расположенного на Южном Урале. В таблице 1 приведены результаты сравнения критерия селективности для различных режимов работы дробилок ДЦ и КИД.

Таблица 1 - Результаты определения критерия селективности при дроблении ниобиевой руды Вишневогорского месторождения в различных дробилках (ДЦ-05 и КИД-300А)

Режим	ДЦ, 1	ДЦ, 2	КИД, 3	КИД, 4	КИД, 5	КИД, 6	КИД, 7	КИД, 8
	Показатель селективности, ед							
(критерий L)	0,874	0,821	1,709	1,730	1,521	1,430	1,558	1,755

Сравнение критерия селективности при дроблении для различных исследуемых дробилок - КИД и ДЦ - показало, что для дробилки КИД он самый высокий – 1,43-1,755 ед. Ниобиевая руда Вишневогорского месторождения относится к коренному типу руд. Исследования руд коры выветривания проводятся по такой же методике, но имеют некоторые особенности. Эти особенности рассмотрены на примере танталовой руды Отбойного месторождения (Иркутская область).

На рисунке 1 представлены результаты экспериментов по выбору режимов работы дробилок КИД-300А, ДЦ 05, LABWAL, пресса МС-500 и гранулометрические характеристики материала до и после дробления. Степени дробления дробилки КИД составили: для режима № 1 – 17,4, режима 2 – 25,0 и для режима 3 – 34,2. Исходя из наибольшей степени дробления в дробилке КИД-300А, наилучшим режимом является режим 3 – без поворота

дебаланса и при скорости вращения конуса 1420 об/мин.

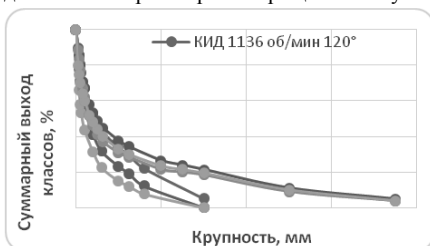
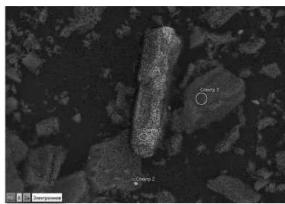


Рисунок 1 – Кумулятивные гранхарактеристики сравниваемых дробилок



Электронный сканирующий микроскоп EVA-MA 15; отраженные электроны

Рисунок 2 – Вид зерен пробы с наложенными на них картами распределения химических элементов

Анализ степеней дробления дробилок ДЦ 05 и ИВВД показал, что для ДЦ при скорости вращения ускорителя 1050 об/мин степень дробления составляет 9,2, а при скорости вращения ускорителя 1500 об/мин - соответственно 11,1. Степень дробления ИВВД равняется 10,4. Сравнение гранулометрических характеристик дробленых продуктов в дробилках ДЦ-05, КИД 300А, LABWAL и пресса МС-500 на танталовой руде Отбойного месторождения показывает значительное преимущество дробилки КИД-300А над остальными агрегатами селективного дробления.

Результаты определения степени раскрытия тантало-ниобатов в мелких классах исходной (дробленной до крупности 20-0 мм) руды показывают нахождение полезных минералов в основном в сростках с минералами пустой породы до крупности 0,050 мм (50 мкм) и менее. Зерна тантало-ниобатов практически до этой крупности не находятся в свободном виде. На рисунке 2 представлен вид выявленного на электронном микроскопе методом сканирования зерна тантало-ниобата.

Таблица 2 – Содержание фракций менее 50 и 5 мкм в продуктах селективного дробления

№ п/п	Режим	Содержание фракции, %	
		50 мкм	5 мкм
1	КИД-1	19,88	3,31
2	КИД-2	29,70	5,73
3	КИД-3	41,08	9,66
4	ДЦ 1 (1050)	12,97	2,17
5	ДЦ 2 (1500)	14,23	2,61
6	LABWAL	36,98	9,05

Исходя из представленных данных, совершенно очевидно, что при данной вкрапленности (менее 50 мкм) тантало-ниобиевых минералов и общем низком содержании их в исходной пробе (0,018 %) выявлять преимущества испытанных методов дробления и дробилок не имеет смысла. В данном случае выбор оптимальной дробилки 3 стадии и режимов ее работы основан на сравнении показателей степени дробления и степени ошламования (таблица 2).

Низкое ошламование в совокупности с высокой степенью дробления дает дробилка

КИД на режиме 1, как по содержанию фракции менее 50 мкм (19,88%), так и 5 мкм (3,31%).

Измельчение. Выбор схем измельчения, как окончательного процесса рудоподготовки, традиционно производится на основании исследования измельчаемости руд. Это определение стержневого и шарового индексов Бонда, индекса П.В. Малярова, использование метода Джона Старкея для само- и полусамоизмельчения и др. Все перечисленные методики нацелены на определение энергоэффективности процесса измельчения в сравнении с эталоном.

Исследования кинетики измельчения на рудах Отбойного месторождения выявили, что оптимальное время измельчения их в стержневой мельнице составляет 10 минут, против 20 минут для руд Вишневогорского месторождения. При измельчении пробы в течение 6 и 10 мин шламы крупностью менее 50 мкм составляют соответственно 4,9 и 7,8 %.

Сравнение исследуемых схем измельчения с использованием центробежной мельницы ЦОМ и стержневой мельницы производилось по результатам определения гранулометрических характеристик на лазерном гранулометре (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание фракций менее 50 и 5 мкм в продуктах циклов измельчения

№ п/п	Режим	Содержание фракции, %	
		-50 мкм	-5 мкм
1	ЦОМ	65,95	13,72
2	Стержневая мельница	20,15	10,34

Таким образом, для измельчения танталовых руд Отбойного месторождения рекомендуется использование стержневой мельницы. Степень ошламования в ней по фракциям менее 50 и 5 мкм составляет соответственно – 20,15 и 10,34%, что в 3,3 и 1,3 раза ниже, чем в центробежной мельнице ЦОМ.

ИТОГИ РАБОТЫ ИНСТИТУТА «МЕХАНОБР» В ОБЛАСТИ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ

А.В. Богданович¹, С.В. Дмитриев², А.О. Мезенин²

¹ «Механобр инжиниринг», ² НПК «Механобр техника», Санкт-Петербург, Россия
avbgd@mail.ru

At Mekhanobr Institute intensive scientific researches were conducted, devices and technologies of physical ways of concentration, namely – gravitational, magnetic, electric, nuclear-physical were developed. These researches allowed to construct and to implement a gear number of concentrators in our country and abroad.

Практически, со дня основания в институте Механобр велись интенсивные научные исследования, разрабатывались аппараты и технологии физических способов обогащения - гравитационных, магнитных, электрических, ядерно-физических.

Наибольшее развитие получили из гравитационных методов гидравлическая классификация и сгущение пульп, обогащение в тяжёлых средах, обогащение в объёме пульпы и обогащение в потоках малой толщины.

Особо нужно отметить достижения Механобра в разработке теоретических основ гравитационного разделения, на базе которых были создано большое количество передовых