

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ТОНКОГО ГРОХОЧЕНИЯ В ЦИКЛЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВОЙ РУДЫ



А. И. КАЛУГИН,
технический директор — главный инженер, канд. техн. наук



К. М. ГУМЕНИЧЕНКО,
начальник АНОФ-3
(с 2013 по 2014 г.)



А. Ю. БАРАБАШ,
начальник производственно-технической службы АНОФ-3



С. С. АРСЕНТЬЕВ,
начальник службы технического обеспечения АНОФ-3

АО «Апатит» перерабатывает апатит-нефелиновые руды Хибинского массива на двух обогатительных фабриках — АНОФ-2 и АНОФ-3 (рис. 1). Доля затрат на рудоподготовку составляет до 60 % суммарных затрат на обогащение руды; сокращение этих расходов является весьма актуальной задачей.

Измельчение апатит-нефелиновой руды осуществляется в шаровых мельницах МШЦ 5500×6500, работающих в замкнутом цикле с гидроциклонами. Анализ показателей работы процесса измельчения показывает, что извлечение готового для флотации класса –0,32 мм в слив гидроциклона, являющегося питанием флотации, не превышает 35 %, что приводит к значительной циркуляции готового продукта в цикле измельчения.

Особенностью апатит-нефелиновых руд является значительное различие крепости основных рудообразующих минералов. Указанная особенность в процессе рудоподготовки приводит к избирательному измельчению апатита по сравнению с нефелином и сопутствующими минералами и в условиях применения

Представлен опыт АО «Апатит» по реализации комплекса мероприятий, направленных на коренную модернизацию процесса измельчения апатит-нефелиновой руды путем замены двухстадийной гидравлической классификации в гидроциклонах на высокочастотное тонкое грохочение на грохотах корпорации Derrick.

Ключевые слова: апатит-нефелиновые руды, измельчение, классификация, тонкое грохочение, эффективность, крупность, апатитовый концентрат.

гидравлической классификации по равнопадаемости минеральных частиц не обеспечивает высокую эффективность измельчения руды.

Применение гидравлической классификации в циклах измельчения всесторонне изучено в институте «Механобр» [1, 2]. В качестве альтернативы, позволяющей повысить эффективность классификации в циклах измельчения руды, показана перспективность применения технологии тонкого грохочения [3].

Несмотря на определенное промышленное применение грохотов тонкого грохочения в мировой и отечественной практике, до середины 2000-х годов отсутствовал широкий опыт их эксплуатации в замкнутом цикле с шаровой мельницей на крупнотоннажных производствах типа обогатительных фабрик АО «Апатит». Учетывающая определяющую новизну процесса, в 2005 г. на опытно-промышленной установке в АО «Апатит» был испытан грохот корпорации Derrick (модель Stack Sizer 2SG48-60W-1STK) с вибрационным приводом переменной частоты.

Целью испытаний являлось определение эффективности классификации измельченной апатит-нефелиновой руды, выбор оптимального режима работы грохота, предварительная оценка параметров процесса «измельчение — классификация» в замкнутом цикле и флотации подрешетного продукта. Изучалось также влияние плотности питания грохота на эффективность его работы при различных размерах ячеек полиуретановых панелей (0,39; 0,35 и 0,3 мм).

Наиболее оптимальные и стабильные показатели достигнуты при работе с ячейками 0,39 мм. В среднем извлечение класса –0,32 мм в подрешетный продукт увеличилось на 32 % (абс.) и достигло 91 %, циркулирующая нагрузка снизилась в 3 раза.

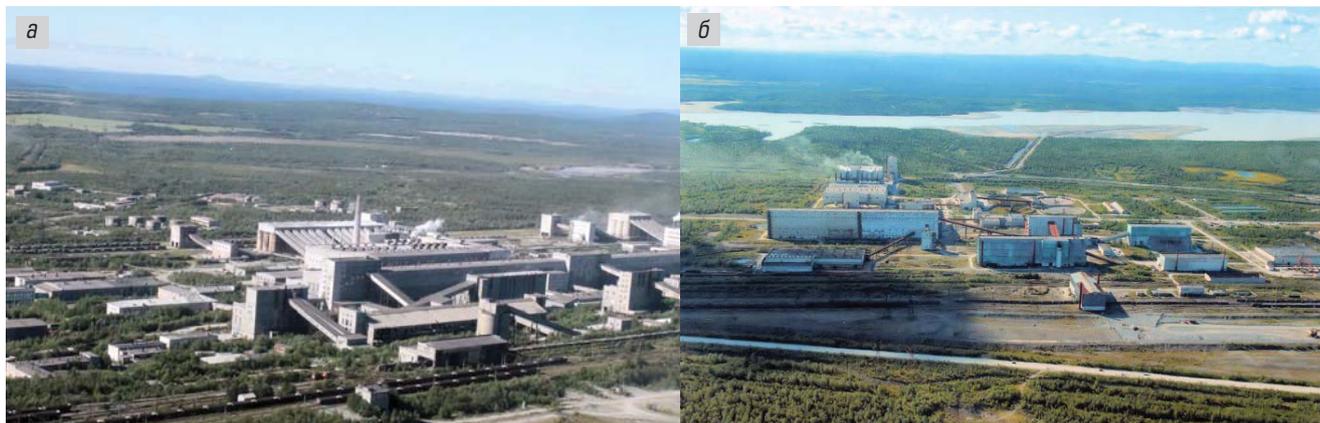


Рис. 1. Вид на промплощадки фабрик АНОФ-2 (а) и АНОФ-3 (б)

Основной причиной ее снижения при уменьшении содержания твердого в питании грохота является повышение извлечения класса $-0,32$ мм в подрешетный продукт, являющийся питанием флотации. Увеличение производительности мельницы составило 20–30 % (отн.) [4].

По данным минералогического анализа, количество сростков апатита с другими минералами в крупных классах подрешетного продукта грохота существенно меньше, чем в аналогичных классах крупности слива гидравлической классификации. Особенно четко эта разница заметна для класса $+0,32$ мм.

Технологические показатели флотации апатита на опытно-промышленной установке при применении грохота в цикле измельчения показали преимущества такой технологии (рис. 2).

По результатам опытно-промышленных испытаний было принято решение о реконструкции схемы классификации слива одной мельницы на АНОФ-2 в промышленных условиях действующего производства. Мельница МШР-3600×4000 с системой тонкого грохочения из четырех пятидечных грохотов модели Stack Sizer 48 вместо ранее последовательно работавших гидроциклонов ГЦ-1000 и ГЦ-710, была введена в эксплуатацию в октябре 2006 г.

В рамках промышленных испытаний на этой секции проведена серия тестовых опробований схемы измельчения и классификации руды. Средняя производительность в декабре 2006 г. (9 опытов) составила 145 т/ч, в марте 2007 г. (11 опытов) — 132 т/ч. В период работы мельницы в автоматическом режиме со стабилизацией оптимального пульпового наполнения и плотности готового слива прирост производительности составил 42 % относительно средней производительности мельницы до реконструкции. Удельный расход шаров на измельчение снизился на 24 % (отн.).

Опытно-промышленные и промышленные испытания [4] показали эффективность применения технологии тонкого грохочения в замкнутом цикле с шаровой мельницей при подготовке руды к флотации. На основании анализа показателей работы измельчительного комплекса, оборудованного системой тонкого грохочения, зафиксировано следующее:

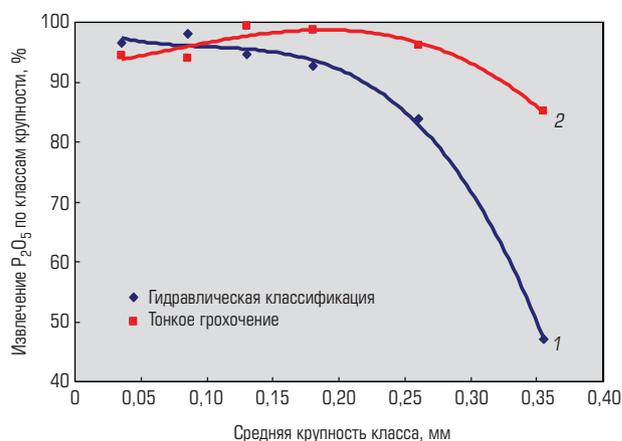


Рис. 2. Извлечение P_2O_5 в апатитовый концентрат по классам крупности

- стабильные технологические показатели процессов измельчения, грохочения и флотации;
- увеличение извлечения класса $-0,32$ мм в подрешетный продукт до 80–85 % (абс.);
- значительное снижение циркулирующей нагрузки;
- увеличение производительности мельницы на 25–35 %;
- необходимое для флотации содержание твердого в подрешетном продукте 40–45 %;
- благоприятный состав питания флотации, т. е. более равномерное распределение P_2O_5 по классам крупности, более полное раскрытие апатита;
- увеличение содержания класса $+0,16$ мм в апатитовом концентрате с 14,5 до ~30 % без изменения максимального размера зерна;
- снижение содержания класса $-0,071$ мм во флотационном апатитовом концентрате с ~50 до ~40 %.

На основе успешных результатов промышленных испытаний технологии тонкого грохочения в конце 2011 г. была начата реализация инвестиционного проекта, предусматривающего установку

Показатели работы секций измельчения АНОФ-3 до и после модернизации

Год	Мельница № 8		Мельница № 7		Мельница № 6		Мельница № 5		МШЦ, всего*		МШЦ, без Derrick**	
	Время, маш-час	Q, т/ч	Время, маш-час	Q, т/ч								
2011	4867,6	305,4	5531,0	305,8	3709,4	324,6	6519,5	305,9	42319,0	307,2	42319,0	307,2
2012	908,4	309,7	4295,2	312,6	7607,8	326,1	6108,1	324,5	41867,0	319,5	41867,0	319,5
2013	5157,8	360,6	3097,4	350,0	773,9	334,6	3561,2	331,6	41798,0	326,5	32768,9	318,8
2014	3420,0	368,3	3258,8	374,0	3509,9	356,7	1379,0	341,4	20604,0	349,0	9036,4	330,8

* Суммарные показатели работы всех секций измельчения.

** Показатели работы секций измельчения, оснащенные гидроциклонами.

10 грохотов Derrick модели Stack Sizer 2SG48-60W-5STK в замкнутом цикле с шаровыми мельницами МШЦ 5500×6500 на шести из восьми секций измельчения на обогатительной фабрике АНОФ-3. Для подачи слива мельниц на грохочение применены насосы НМ-300 FHC-S, а для подачи подрешетного продукта на флотацию — насосы VASA HD 7010-200 SHR-R фирмы Metso Minerals.

Первая из реконструируемых секций — № 8 была введена в эксплуатацию в марте 2013 г. Затем, в течение 15 мес на фабрике поочередно переоснастили 5 из 6 постоянно работающих измельчительных секций. Наладку и оптимизацию работы систем автоматического регулирования (САР) и управления (САУ) процессом измельчения на мельницах, оснащенных системой тонкого грохочения, осуществляли под руководством канд. техн. наук Г. Е. Златорунской.

В процессе наладки технологии тонкого грохочения определен оптимальный расход воды при измельчении и грохочении для достижения требуемой (37–40 % тв.) плотности подрешетного продукта, поступающего на флотацию. Циркулирующая нагрузка от песковой фракции находилась в пределах 80–100 %. Эффективность грохочения по классу –0,32 мм составила 85–90 %.

В ходе испытаний оптимизирована конструкция бутары с обратной спиралью для возврата крупной неизмельченной фрак-

ции в мельницу; в настоящее время ее оптимальный вариант имеет отверстия карт 1-го и 2-го пояса 16×18 мм, 3-го и 4-го пояса — 12×30 мм. Одновременно потребовалось также использование более износостойких материалов для резиновых шлангов и трубопроводов в связи с повышенной скоростью потока пульпы.

Режимно-наладочными испытаниями показана возможность стабильной работы мельницы МШЦ 5500×6500 в замкнутом цикле с тонким грохочением при нагрузке 400–420 т/ч, что позволило повысить производительность секции измельчения по сравнению с традиционной классификацией в гидроциклонах.

Фактические среднемесячные показатели работы шаровых мельниц до и после модернизации системы классификации измельченной руды представлены в **таблице**. При этом за 15 мес эксплуатации отмечено снижение удельного расхода стальных шаров на 10–15 %, футеровки мельниц на 7–10 %, электроэнергии на производство концентрата примерно на 10 %.

По результатам промышленной эксплуатации отмечено не только повышение производительности измельчения за счет снижения циркулирующей нагрузки, но и увеличение крупности питания флотации при достаточном раскрытии апатита. По данным минералогического анализа, количество сростков апатита с другими минералами в крупных классах подрешетного продукта

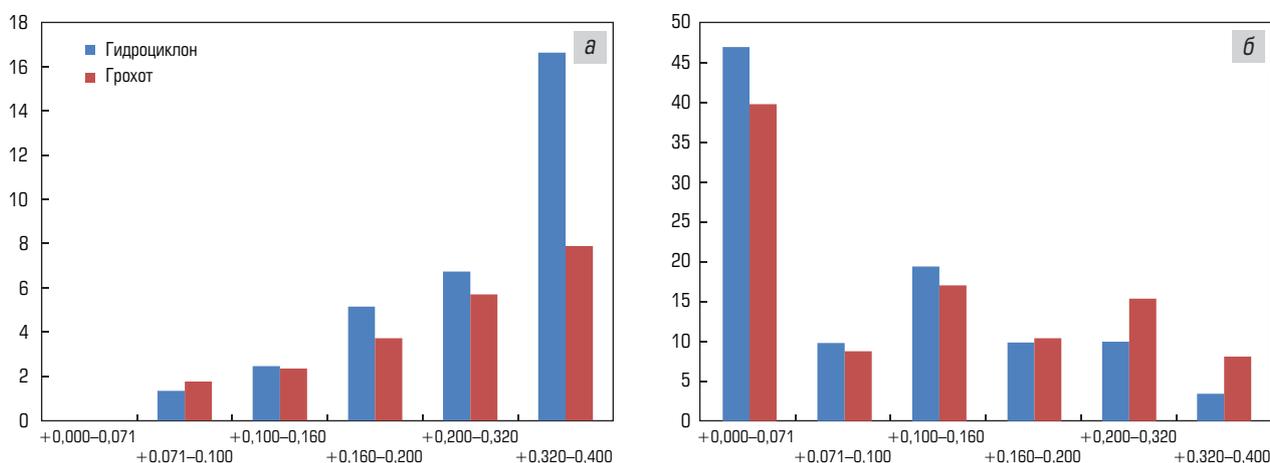


Рис. 3. Сопоставление доли сростков апатита с другими минералами (а) и распределения P₂O₅ по классам крупности (б) при различной технологии классификации

существенно меньше, чем в аналогичных классах слива гидроциклона. Это говорит в первую очередь о более благоприятном распределении P_2O_5 по классам крупности для флотационного разделения продукта, подготовленного на грохоте, с более высокой степенью раскрытия апатита в его крупных классах (рис. 3).

В итоге содержание класса +0,16 мм во флотационном концентрате увеличилось с 13–15 % до ~30 %. По своему гранулометрическому составу апатитовый концентрат, полученный с применением тонкого грохочения, и близок к концентрату «Супер» (ТУ 2111-37-00203938-96) (рис. 4).

При исследовании потребительских свойств апатитового концентрата, основного сырья для производства минеральных удобрений, установлено, что одним из недостатков апатитового концентрата «Стандарт» является высокое содержание пылевидных фракций [5, 6].

Ограничение крупности апатитового концентрата, предусмотренное ГОСТ 22275-90, было в основном связано с использованием концентрата для производства суперфосфатов, где требуется тонкий продукт. В настоящее время апатитовые концентраты используют для производства экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) сернокислотным разложением (75 %), удобрений — азотнокислотным разложением (15 %) и технических фосфатов (10 %) [6]. Указанные технологии не требуют тонкого апатитового концентрата. Это подтверждает опыт зарубежных фирм, использующих для производства ЭФК и NPK-удобрений крупнозернистый хибинский апатитовый концентрат марки «Супер» и крупнозернистый апатитовый концентрат фирмы «Фоскор» (ЮАР) [7].

Институт «НИУИФ» провел серию промышленных испытаний [6–8] по переработке апатитового концентрата повышенной крупности, содержащего ~20 % класса +0,16 мм, и получению из него ЭФК полугидратным и дигидратным методами и NPK-удобрений методом азотнокислотного разложения.

Были получены устойчивые технологические показатели и не отмечено изменений ключевых показателей процесса при переходе на апатитовый концентрат повышенной крупности (+0,16 мм не более 20 %) для азотнокислотного метода разложения фосфатного сырья и основных методов производства ЭФК, что подтвердило возможность его использования на действующих производствах с минимальными изменениями аппаратного оформления и технологического режима. С 2010 г. и по настоящее время специалисты института «НИУИФ» осуществляют мониторинг показателей промышленной переработки апатитового концентрата повышенной крупности в дигидратном и полугидратном режимах на заводах минеральных удобрений холдинга «ФосАгро» в городах Череповец и Балаково.

При использовании апатитового концентрата повышенной крупности для потребителя безусловными и позитивными факторами является существенное улучшение условий транспортирования и выгрузки апатитового концентрата из хопперов и показателей работы пневмотранспорта на перерабатывающих предприятиях. Кроме того, снижение концентрации пыли апатитового концентрата в воздухе улучшает санитарно-гигиенические пара-

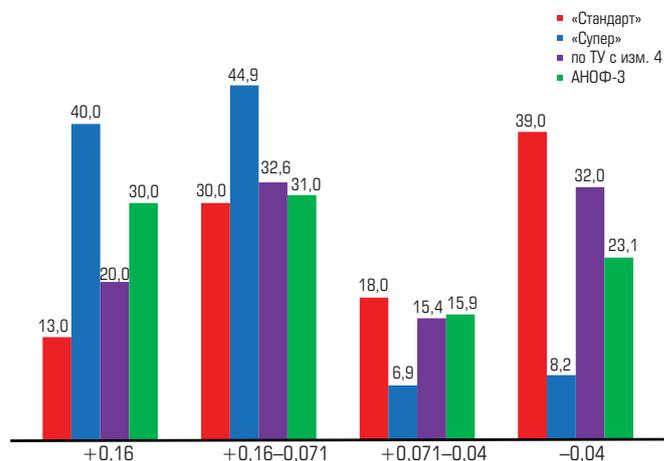


Рис. 4. Распределение по крупности частиц апатитового концентрата различных марок производства АО «Апатит»

метры в зоне работы технологического персонала. Так, например, замеры запыленности рабочей зоны на складе разгрузки вагонов в среднем показали содержание пыли в атмосфере при разгрузке концентрата повышенной крупности 15,1 мг/м³, при разгрузке АК «Стандарт» (ГОСТ 22275-90) — 60,2 мг/м³.

Заключение

В результате внедрения технологии тонкого грохочения и перенастройки процесса измельчения апатит-нефелиновой руды на максимально возможную крупность с сохранением раскрытия минеральных сростков обеспечена оптимальная загрузка шаровых мельниц МШЦ 5500×6500 до 400–420 т/ч по исходной руде и улучшение всего технологического процесса производства апатитового концентрата. Главное преимущество технологии производства концентрата повышенной крупности — уменьшение шламовых фракций в апатитовом концентрате, что позволяет сократить его потери в операциях обезвоживания, погрузки, транспортирования и разгрузки.

Спрос на апатитовый концентрат со стороны российских предприятий постоянно растет, что неизбежно приводит к сокращению его экспорта. В этих условиях актуальным и оправданным стал переход к производству унифицированной марки апатитового концентрата повышенной крупности.

Переход АО «Апатит» на выпуск апатитового концентрата повышенной крупности является оправданным в технологическом, экономическом и экологическом отношении.

Библиографический список

1. Вайсберг Л. А., Вяльцева О. А. Гусаров Ю. Г. Дмитриев А. А., Коровников А. Н. Вопросы совершенствования техники и технологии тонкого грохочения при обогащении руд цветных металлов // Совершенствование процессов дробления, измельчения, грохочения и классификации руд и продуктов обогащения : сб. науч. тр. — Л. : Механобор, 1985. С. 139–152.

2. Сухова Э. Б., Стрельцын В. Г., Конев В. А. Технологические особенности применения тонкого грохочения в схемах измельчения вольфрамсодержащих руд // Переработка комплексных вольфрамовых, вольфрамомолибденовых руд и продуктов обогащения : сб. науч. тр. — Л. : Механобр, 1988. — 49 с.
3. Вайсберг Л. А., Коровников А. Н. Тонкое грохочение как альтернатива гидравлической классификации по крупности // Обогащение руд. 2004. № 3. С. 23–34.
4. Брыляков Ю. Е., Кострова М. А., Шишкин С. П., Голованов В. Г., Калугин А. И. Применение грохотов тонкого грохочения в замкнутом цикле измельчения апатит-нефелиновых руд // Современные методы комплексной переработки руд и нетрадиционного минерального сырья : сб. тр. конф. «Плаксинские чтения-2007». — Апатиты : КНЦ РАН, 2007.
5. Куртеева О. И., Классен П. В., Талмуд М. М., Тимофеев В. А., Масленников С. В. Исследования в области оптимизации тонины помола апатитового концентрата, используемого в производстве ЭФК // Труды НИИУФ. — М., 1991. Вып. 260. С. 41–47.
6. Черненко Ю. Д., Ангелов А. И., Левин Б. В. Направления оптимизации качества Кольского апатитового концентрата // Химическая промышленность. 1999. № 11. С. 56–60.
7. Левин Б. В., Ангелов А. И., Голованов В. Г. Производство и химическая переработка Кольского апатитового концентрата повышенной крупности // Химическая промышленность сегодня. 2005. № 4. С. 42–48.
8. Гриневич А. В. Закономерности химического растворения хибинского апатитового концентрата применительно к производству ЭФК // Труды НИИУФ. — М., 2009. С. 216–263. 

Калугин Александр Иванович,
e-mail: AKalugin@phosagro.ru

Гумениченко Константин Михайлович,
e-mail: gumenichenko-km@apatity-city.ru

Барабаш Алексей Юрьевич,
e-mail: ABarabash@phosagro.ru

Арсентьев Сергей Сергеевич,
e-mail: SArsentev@phosagro.ru

“GORNYI ZHURNAL”/“MINING JOURNAL”, 2014, № 10, pp. 52–57

Title	Experience of fine screening introduction in apatite–nepheline ore milling circuit
Author 1	Name & Surname: Kalugin A. I.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
	Work Position: Technical Director—Principal Engineer
	Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
	Contacts: e-mail: AKalugin@phosagro.ru
Author 2	Name & Surname: Gumenichenko K. M.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
	Work Position: Chief of Apatite–Nepheline Processing Plant-3
Author 3	Name & Surname: Barabash A. Yu.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
Author 4	Name & Surname: Arsentiev S. S.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
Abstract	Work Position: Head of Technical Support Service, Apatite–Nepheline Processing Plant-3
	In 2005 Apatit JSC trialed a screen manufactured by Derrick (model Stack Sizer 2SG48-60W-1STK) with a variable frequency drive on a semicommercial plant. The semicommercial and commercial trials demonstrated efficiency of the fine screening technology used in the ball milling circuit of ore preparation for flotation. The commercial operation revealed the increase in the milling output owing to reduced circulating load, increased coarseness of flotation feed and sufficient dissociation of apatite. From the mineralogical analysis, the amount of intergrown pieces of apatite and other minerals is substantially lower in the large size categories of the under-screen than in the same size categories of the cyclone discharge. As the result, +0.16 mm size content of the flotation concentrate is increased from 13–15% to ~30%. According to the grain-size composition, the apatite concentrate produced using the fine screening is close to the apatite concentrate grade Super (RF Technical Specifications 2111-37-00203938-96). The introduction of the fine screening and re-adjustment of the apatite-nepheline ore milling circuit towards maximum possible grain size with keeping the dissociation ability of intergrown pieces of minerals has ensured the optimized feed of ball mills MSHTS 5500×6500 with up to 400–420 t/h of ROM ore and improved the apatite concentrate production.
Keywords	Apatite-nepheline ore, milling, classification, fine screening, efficiency, size grade, apatite concentrate.
References	1. Vaysberg L. A., Vyaltseva O. A. Gusev Yu. G. Dmitriev A. A., Korovnikov A. N. <i>Voprosy sovershenstvovaniya tekhniki i tekhnologii tonkogo grokhocheniya pri obogashchenii rud tsvetnykh metallov</i> (Problems of improvement of technics and technology of fine screening in the time of concentration of non-ferrous metal ores). <i>Sovershenstvovanie protsessov drobleniya, izmelcheniya, grokhocheniya i klassifikatsii rud i produktov obogashcheniya : sbornik nauchnykh trudov</i> (Improvement of grinding, crushing and screening processes, and classification of ores and concentration products : collection of scientific proceedings). Leningrad : Mekhanobr, 1985. pp. 139–152.

References

2. Sukhova E. B., Streltsyn V. G., Konev V. A. *Tekhnologicheskie osobennosti primeneniya tonkogo grokhocheniya v skhemakh izmelcheniya volframsoderzhashchikh rud* (Technological peculiarities of application of fine screening in tungsten-containing ore grinding systems). *Pererabotka kompleksnykh volframovykh, volframo-molibdenovykh rud i produktov obogashcheniya* : sbornik nauchnykh trudov (Processing of complex tungsten, tungsten-molybdenum ores and concentration products : collection of scientific proceedings). Leningrad : Mekhanobr, 1988. 49 p.
3. Vaysberg L. A., Korovnikov A. N. *Tonkoe grokhochenie kak alternativa gidravicheskoy klassifikatsii po krupnosti* (Fine screening as alternative of hydraulic classification according to coarseness). *Obogashchenie Rud* = Mineral processing. 2004. No. 3. pp. 23–34.
4. Brylyakov Yu. E., Kostrova M. A., Shishkin S. P., Golovanov V. G., Kalugin A. I. *Primenenie grokhotov tonkogo grokhocheniya v zamknutom tsikle izmelcheniya apatit-nefelinovykh rud* (Application of micro-screens in closed cycle of apatite-nepheline ores grinding). *Sovremennyye metody kompleksnoy pererabotki rud i netraditsionnogo mineralnogo syr'ya* : sbornik trudov konferentsii «Plaksinskie chteniya-2007» (Modern methods of complex processing of ores and non-traditional mineral raw materials : collection of proceedings of the conference «Plaksin readings -2007»). Apatiry : Kola Science Center of Russian Academy of Sciences, 2007.
5. Kurteva O. I., Klassen P. V., Talmud M. M., Timofeev V. A., Maslennikov S. V. *Issledovaniya v oblasti optimizatsii toniny pomola apatitovogo kontsentrata, ispolzuemogo v proizvodstve ekstraktsionnoy fosforной kisloty* (Researches in the area of optimization of milling fineness of apatite concentrate, used in production of wet-process phosphoric acid). *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo instituta po udobreniyam i insektofungitsidam* = Proceedings of Research Institute for Mineral Fertilizers. 1991. Iss. 260. pp. 41–47.
6. Chernenko Yu. D., Angelov A. I., Levin B. V. *Napravleniya optimizatsii kachestva Kolskogo apatitovogo kontsentrata* (Ways of optimization of Kola apatite concentrate quality). *Khimicheskaya promyshlennost* = Chemical industry. 1999. No. 11. pp. 56–60.
7. Levin B. V., Angelov A. I., Golovanov V. G. *Proizvodstvo i khimicheskaya pererabotka Kolskogo apatitovogo kontsentrata povyshennoy krupnosti* (Production and chemical processing of Kola apatite concentrate with high coarseness). *Khimicheskaya promyshlennost segodnya* = Chemical industry today. 2005. No. 4. pp. 42–48.
8. Grinevich A. V. *Zakonomernosti khimicheskogo rastvoreniya khibinskogo apatitovogo kontsentrata primenitelno k proizvodstvu ekstraktsionnoy fosforной kisloty* (Regularities of chemical dissolution of Khibiny apatite concentrate, applied to production of wet-process phosphoric acid). *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo instituta po udobreniyam i insektofungitsidam* = Proceedings of Research Institute for Mineral Fertilizers. 2009. pp. 216–263.

УДК 622.765:622.634

Б. В. ЛЕВИН (АО «НИУИФ»)
А. И. КАЛУГИН (АО «Апатит»)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБОГАЩЕНИЯ И КИСЛОТНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ АПАТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ПОВЫШЕННОЙ КРУПНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА АО «АПАТИТ»



Б. В. ЛЕВИН,
генеральный директор,
канд. техн. наук



А. И. КАЛУГИН,
технический директор –
главный инженер,
канд. техн. наук

Крупнейшее в мире горно-обогатительное предприятие по производству апатитового концентрата АО «Апатит» разрабатывает месторождения апатит-нефелиновых руд Хибинского массива. Объединение производит один из лучших в мире видов фосфатного сырья — апатитовый концентрат, содержащий ~39 % P₂O₅ (>85 WPL) и наименьшую (по сравнению со всеми известными видами фосфатных концентратов) долю примесных токсичных элементов.

Характеристика товарных апатитовых концентратов — содержание P₂O₅ и гранулометрический состав — определяется тремя основными факторами:

В работе проведен сравнительный анализ гранулометрического состава апатитовых концентратов, выпускаемых ведущими мировыми производителями. Рассмотрен практический опыт производства в АО «Апатит» апатитового концентрата повышенной крупности. Приведены результаты промышленных испытаний технологии переработки апатитового концентрата повышенной крупности сернокислотным и азотнокислотным способами. Отмечено принципиальное соответствие аппаратного оформления действующих технологий производства экстракционной фосфорной кислоты и удобрений для перехода на переработку апатитового концентрата повышенной крупности.

Ключевые слова: апатит-нефелиновые руды, апатитовый концентрат, крупность концентрата, химическая переработка, минеральные удобрения, экстракционная фосфорная кислота.

- вещественным составом руд, их текстурно-структурными особенностями, в том числе размером вкрапленности минералов, в первую очередь — апатита;
- техническими возможностями обогатительного оборудования, главным образом — флотационных машин;
- требованиями потребителей, связанными с технологией переработки концентратов.