

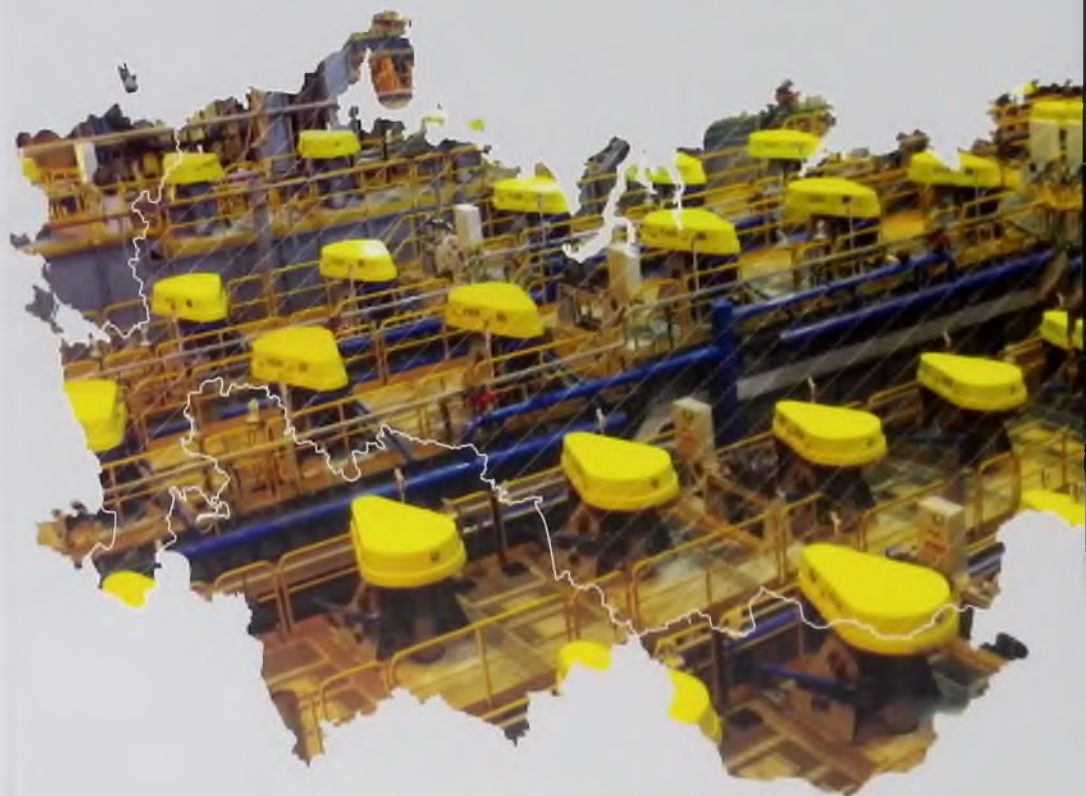
www.rudmet.ru

ISSN 0017-2278

# РУДНЫЙ ЖУРНАЛ

Издается с 1825 года

10.2010



**РИВС**

ТЕХНОЛОГИЯ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ОБОРУДОВАНИЕ  
ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

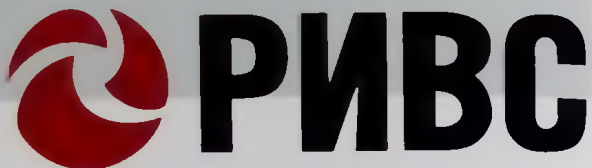
Сферой деятельности объединения «РИВС» являются:

- разработка и внедрение современных технологий для обогащения руд цветных и благородных металлов, железосодержащих магнетитовых и окисленных руд, тяжелых полиметаллических, горно-химического и теплового сырья;

- техническое проектирование горно-обогатительных комбинатов и предприятий строительной индустрии с применением технологий и оборудования собственных разработок, а также современного зарубежного оборудования;

- увеличение выпуска товарной продукции предприятий за счет повышения качества концентратов, извлечения в них металлов, производительности обогатительных фабрик;

- снижение затрат на переработку 1 т руды.



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ



Научно-производственное объединение «РИВС» разрабатывает и выпускает:

- Флотационные машины РИФ пневмомеханического типа в модульном и чановом исполнении с камерами объемом от 0,5 до 130 м<sup>3</sup>, механического типа с камерами объемом от 0,2 до 12,5 м<sup>3</sup>, пневматического (колонного) типа с камерами объемом от 1,2 до 50 м<sup>3</sup>

Все флотомашинны оснащаются автоматическими системами стабилизации и управления уровнем и, при необходимости, плотностью пульпы в камере

Флотомашинны РИФ изготавливают для различных операций флотации с учетом обогатимости минерального сырья; по желанию Заказчика флотомашинны могут быть оснащены всасывающими блоками.

- Оттирочно-агитационные комплексы для подготовки пульпы перед различными операциями.

- Контактные чаны для механического перемешивания пульпы при обработке реагентами и для применения их в качестве зумпфов вместимостью от 1 до 200 м<sup>3</sup>.

- Аэрационные чаны вместимостью от 6,5 до 200 м<sup>3</sup> для кондиционирования рудных пульп.



**Основан в 1825 году**  
при Горном кадетском корпусе  
(ныне — Санкт-Петербургский государственный горный институт)

**Ежемесячный научно-технический  
и производственный журнал**

**УЧРЕДИТЕЛИ ЖУРНАЛА:**

АО «АПРОСА», ОАО «Апатит», ОАО «НПК «Механобр» техникат,  
Московский государственный горный университет, Российский государственный  
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе,  
Издательский дом «Руда и Металлы»

**Председатель правления «Горного журнала» Л. А. Вайсберг**

**РЕДАКЦИЯ:**

главный редактор Л. А. Пучков,  
заместитель главного редактора А. Г. Воробьев,  
консультант по горному делу С. А. Ильин,  
ответственный секретарь О. В. Федина,  
ведущие редакторы: Л. Е. Кастина, О. С. Мякота,  
редакторы: Е. А. Мякота, Е. В. Плотникова,  
менеджер по рекламе Н. И. Кольчикова,  
менеджер по производству и распространению М. А. Уколов,  
ответственный за доредакционную подготовку К. Л. Осина

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Экспертная группа редколлегии:**

В. М. Авдохин, В. Ж. Аренс, Л. А. Вайсберг, Л. Д. Гагут, С. А. Гончаров, Ю. К. Дюдин,  
И. В. Зырянов, Н. О. Каледина [руководитель секции «Охрана труда и окружающей  
среды»], Д. Р. Калпунюс [руководитель секции «Разработка месторождений  
и горно-строительные работы»], М. Б. Каченя, Е. А. Козловский [руководитель секции  
«Сырьевая база»], А. В. Корчак, Е. А. Коленко, Б. Н. Кутузов, В. Г. Лернер, В. С. Литвиненко,  
А. Б. Макаров, Ю. Н. Малышев, Н. Н. Мельников, О. С. Мякота, М. Е. Певзнер  
[руководитель секции «Экономика, управление, недропользование»], В. П. Петров,  
Г. Г. Пивняк, А. В. Пинчук, А. И. Перелепичин, Л. А. Пучков, В. В. Рудаков,  
О. Б. Синельников, Б. И. Смирнов, К. Н. Трубецкой, В. А. Чантурия  
[руководитель секции «Переработка и комплексное использование полезных  
ископаемых»], Е. Е. Шешка [руководитель секции «Горное оборудование,  
электроснабжение и автоматизация»], М. И. Шадов, Т. И. Юшина

**Аналитическая группа редколлегии:**

В. И. Борщ-Компанич, А. П. Величко, В. И. Ганникий, В. П. Грицков,  
С. А. Ильин, С. Л. Иофин [руководитель группы], О. Н. Малигин, В. Н. Масинец,  
А. А. Новиков, М. Г. Седлов, Р. И. Семилгин, Е. М. Титневский

**Руководители представительств в странах и регионах:**

С. С. Арзуманян (Армения), А. М. Бабац (КМА, Россия), Н. И. Дядечкин  
(Кривбасс, Украина), А. С. Красуля (Донецко-Приднепровский регион, Украина),  
Алим Иброжим (Таджикистан), Ю. Ф. Ильинский (Молдова),  
В. М. Киричко (Белоруссия), К. З. Курмаганов (Кыргызстан),  
Ю. А. Маман (Дальневосточный регион, Россия), О. А. Одакал (Туркменистан),  
М. В. Рыльникова (Южный Урал, Россия), Н. Б. Табьман (Канада),  
А. Г. Ташчиралдиев (Грузия), Ф. Улиш (Восточная Австралия), А. Ф. Цеховой (Казахстан),  
П. А. Шеметов (Кызылкумский регион, Узбекистан), М. Эрикссон (Швеция),  
В. П. Яковлев (Средний и Полярный Урал, Россия)

**Адрес редакции:**

119049, Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, 6, МГГУ, комн. Г-550, Г-556, Г-557  
Тел./факс: (499) 230 27 48, 230 27 18  
E-mail: gornyj@nifed.ru, info@nifed.ru, www.nifed.ru

Подписывайте в почтовый ящик № 281010, Формат 60x90/8, Печ. л. 15.  
Почтовый индекс: Букино 440000

Журнал редакции зарегистрирован в Министерстве РФ (Свидетельство ПИ № Фс77-34804 от 23.12.2008 г.)

Отпечатано в типографии ООО «Стри-Принт», г. Москва, тел.: (495) 510 53 44  
© Оформление: ЗАО «Издательский дом «Руда и Металлы», «Горный журнал», 2010  
Материалы, отмеченные (Р), публикуются на правах рекламы

Переписка материалов возможна только с письменного разрешения редакции.

При переписке ссылка на «Горный журнал» обязательна.

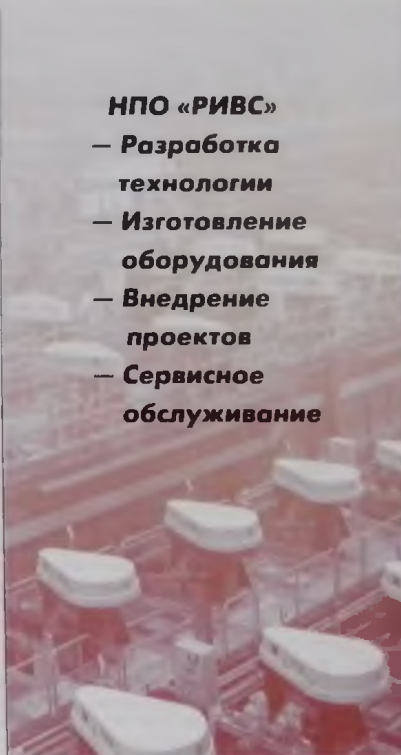
Товарный знак и название «Горный журнал» являются исключительной  
собственностью Издательского дома «Руда и Металлы».

**Базовый печатный орган  
Межправительственного совета  
стран СНГ по разведке,  
использованию и охране недр**

Полномочный представитель Российской Федерации  
в Министерстве А. А. Ледовский  
руководитель Федерального агентства  
по недропользованию (ИРГОСНДР)

при содействии НП «Горнопромышленники России»  
при участии ЗФ ОАО «ГМК «Нарильский никель»  
ГП «Новосильский ГМК»  
УРАН ИПКОН РАН  
ФГУП «ЦИГРИ»

Читинского государственного университета,  
Национального горного университета Украины,  
Государственного Эрмитажа



- НПО «РИВС»**
- Разработка
- технологии
- Изготовление
- оборудования
- Внедрение
- проектов
- Сервисное
- обслуживание

Редакция «Горного журнала» выражает благодарность  
начальнику отдела НИИ С. П. Крутые и менеджеру отдела,  
канд. техн. наук О. П. Болдыренко (ЗАО «НПО «РИВС»)  
за содействие в подготовке номера

ISSN 0017-2278



9 770017 227004 >



**ЗАЛОГ УСПЕХА — СТАБИЛЬНОСТЬ**

**Зимин А. В.** Экономический климат, и ЗАО «НПО «РИВС» ..... 4

**РУДОПОДГОТОВКА**

**Скарин О. И., Крутин П. И., Иванов А. И.** Интенсификация процессов полусухого измельчения оптимизацией структурно-технологического состава системы мельниц ..... 8  
**Крутин П. И., Иванов А. И., Скарин О. И.** Сравнительное описание рудоподготовки действующей обогащательной фабрики ..... 13  
**Иванов А. И., Крутин П. И.** Поставлены внедрены крупной металлургической обогатительной фабрикой черной металлургии ..... 19

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ РУД**

**Санакулов К. С., Арустамов М. А., Шуксенов Е. И.** Сравнительное описание технологии обогащения концентратов железной руды на Ангорской обогатительной фабрике ..... 24  
**Фарманов А. К., Зимин А. В.** Основные направления реконструкции черной металлургической фабрики ОАО «Уральский ГОК» ..... 28  
**Давыдов С. И., Шуксенов Е. И., Михайлова А. В.** Технологии обогащения средне- и мелкозернистых железистых руд рудника «Большая Гора» ..... 31  
**Гайбатулов З., Зимин А. В., Салаватова Л. М., Назаров Ю. П.** Сравнительное описание технологий обогащения мелкого мелкозернистого руды ..... 34  
**Зимин А. В., Арустамов М. А.** Разработка технологии обогащения при переработке мелко- и среднезернистых руд ..... 37  
**Зимин А. В., Арустамов К. М.** Результаты испытаний дробительных комплексов дробильно-концентратных станций в ОАО «Уральский ГОК» ..... 40  
**Михайлова А. В., Гараничев В. В.** Модернизация флотационного участка руды «Большая Гора» ..... 42  
**Арустамов А. М., Арустамов К. М.** Сравнительное описание технологий обогащения мелкого мелкозернистого руды «Большая Гора» при переработке ..... 44  
**Абдрахманов И. А., Ягудин Р. А., Зимин А. В., Калинин Е. П., Немчинова Л. А.** Повышение технико-экономических показателей цеха для на обогатительной фабрике ОАО «Уральский ГОК» ..... 47  
**Ягудин Р. А., Ягудина Ю. Р., Зимин А. В., Немчинова Л. А., Юрлова Н. А.** Повышение качества мелкого концентрата на обогатительной фабрике ОАО «Уральский ГОК» ..... 52  
**Зимин А. В., Скарин О. И., Немчинова Л. А., Ткаченко М. И., Ягудин Р. А.** Разработка технологии обогащения медно-цинковых руд с предварительной отмывкой класка — 5 мм ..... 57  
**Санакулов К. С., Мустаимов О. М., Рузиев Н. Р., Зимин А. В., Арустамов М. А., Арустамов К. М.** Обогащение крупнозернистого материала при переработке «золотосодержащих» руд с применением схемы и оборудования ЗАО «НПО «РИВС» ..... 60

**Назаров Ю. П., Самаров Ю. А.** Опыт флотационного обогащения железной руды ..... 64

**АВТОМАТИКА И МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

**Трушин А. А., Садов А. В., Лобаченко А. А., Никандров И. С.** Система автоматического регулирования процесса флотации производства ЗАО «НПО «РИВС» ..... 69  
**Бондаренко А. В.** Зарядки развития автоматической систем аналитического контроля пульпы ..... 75  
**Бондаренко А. В.** Термалюминоцентный метод в обогащении руд ..... 81  
**Андреев Д. С.** Особенности рентгенофлуоресцентного анализа высококачественной флюоритовых руд ..... 84

**РЕКОНСТРУКЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ И СТРОИТЕЛЬСТВО НОВЫХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК**

**Гайбатулов З., Назаров Ю. П., Павлинский М. В.** Проектные решения при реконструкции главного корпуса «ОО «Предприятие «Эрдэнт» с применением оборудования ЗАО «НПО «РИВС» ..... 87  
**Габдуллин З. Р., Мингажев А. Ж., Калинин Е. П., Немчинова Л. А., Ткаченко М. И.** Реконструкция Сибирской обогатительной фабрики ..... 93  
**Санакулов К. С., Рузиев Н. Р., Арустамов М. А., Самаров Ю. А.** Опыт проектирования и строительства «под ключ» Заряжинского завода железякательной фабрики ..... 97

**ПРИРОДООХРАННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ**

**Юрлова Н. А.** Экологические аспекты цикла переработки объектов и предприятий горнодобывающего комплекса ..... 101

**РЕКЛАМА**

РИВС — информация о конференции  
 Компания - Швайдер Эльтрик  
 ООО - Вент Минаралз РФЗ  
 Компания - KAZ-Sup Congratation  
 «Техстарт 21 век» — технологии, горное дело, металлургия — Международная научно-практическая конференция  
 ЗАО - Машиностроительный холдинг - Компания - Sandvik  
 «Карельский камень» — выставка  
 ОАО - Кыштымское машиностроительное объединение  
 «Mining World Russia» — 15-я Международная выставка по горному оборудованию, добыче и обогащению руд и минералов  
 Компания - Siemens

Contents in English ..... 3

**Журнал по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук» по разработке месторождений твердых полезных ископаемых, экономике, энергетике**

Выпускающий редактор номера — **О. С. Мясота**

## MONTHLY SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL JOURNAL

The basic edition of the Intergovernmental council of CIS countries in exploration, usage and protection of the earth bowels

**Founders:** «Alrosa» jsc, «Apatit» jsc, «Mekhanobr-Technica» jsc, Moscow state mining university, Russian state exploration university named after Sergo Ordzhonikidze, «Ore and Metals» Publishing house  
**With assistance of:** «Gornopromyshlenniki Rossi» non-commercial partnership  
**With participation of:** Zapolyarny (Transpolar) affiliate of «Norilsk Nickel»-mining and metallurgical company, State enterprise Navoi mining and metallurgical works, URAN IPKON RAN, FGUP «TsNIGRI», Chita state university, National mining university of Ukraine, State Heritage museum

Chairman of the managing board **Leonid Vaisberg**  
 Editor-in-Chief **Lev Puchkov**  
 Deputy Editor-in-Chief **Alexander Vorobiev**  
 Mining consultant: **Sergey Il'yin**  
 Responsible Secretary **Oxana Fedina**

**Actual address:** Moscow, Leninsky prospekt 6, office G-50  
**Mailing address:** Russia, 119049, Moscow, P.O. Box # 71  
**Phone/fax:** +7-499-230-2748, +7-499-230-2728  
**E-mail:** gornjournal@rudmet.com  
**Internet:** www.rudmet.com

The journal has been published since 1825 at Mining military school (at present time St. Petersburg state mining institute technical university)

**Publisher:** «Ore and Metals» publishing house  
**Phone/fax:** +7-495-638-4518  
**E-mail:** nm@rudmet.com

Leading editors: **Lyudmila Kostina, Oleg Myakota**  
 Editors: **Ekaterina Myakota, Elena Plotnikova**  
 Advertising manager: **Natalia Kolykhalova**  
 Production manager: **Maxim Ukolov**  
 Responsible for pre-printing work: **Xenia Osina**

Printed in "Street-Print" printing house (Russia, 115114, Moscow, Derbenevskaya st. 20, bld. 2)

## ORE PREPARATION

- Skarin O. I., Kruppa P. I., Ivanov A. N.** Intensification of processes of semiautogenous grinding via optimization of granulometric content of mills feeding ..... 6  
**Kruppa P. I., Ivanova A. N., Skarin O. I.** Improvement of the schemes of ore preparing for operating beneficiation enterprises ..... 13  
**Ivanov A. N., Kruppa P. I.** (Perspectives of implementation of dry magnetic separation at beneficiation plant of ferrous metallurgy) ..... 19

## ORE CONCENTRATION TECHNOLOGY

- Sanakulov K. S., Arustamyan M. A., Shumskaya E. N.** Perfection of technics and technology of ore preparation of gold-containing ores at Angrenskaya concentrating factory ..... 24  
**Farmanov A. K., Zimin A. V.** The main engineering solution of reconstruction of cooper concentrating plant of "Almalyk MMC" JSC ..... 28  
**Dabizha S. I., Shumskaya E. N., Mihailova A. V.** Technology of dressing of copper-molybdenum out of balance ores of mine "KalimakYr" ..... 31  
**Ganbaatar Z., Zimin A. V., Solov'eva L. M., Nazarov Yu. P.** Improvement of beneficiation technology for copper-molybdenum ores from Erdenetlyin-Ovoo deposit ..... 34  
**Zimin A. V., Arustamyan M. A., Nazarov Yu. P.** Concept of solving the problems during processing of copper-nickel ores ..... 37  
**Zimin A. V., Arustamyan K. M.** The results of testing of aeration complexes in different constructions at "Kola Mining and Metallurgical Company" ..... 40  
**Mikhaylov A. V., Garanichev Ya. V.** Researching apatite flotation from ore of Kovdor'sky deposit ..... 42  
**Arustamyan A. M., Arustamyan K. M.** Improvement of beneficiation technology of copper-molybdenum ores from Kadzharanskoje deposit ..... 44  
**Abdrakhmanov I. A., Yagudin R. A., Zimin A. V., Kalinin E. P., Nemchinova L. A.** Increase of technological parameters of zinc cycle at concentration plant of "Uchalinsky Mining and Concentrating Plant" ..... 47

- Yagudin R. A., Yagudina Yu. R., Zimin A. V., Nemchinova L. A., Yurlova N. A.** Improvement of quality of copper concentrate at "Uchalinsky Mining and Concentrating Plant" ..... 52  
**Zimin A. V., Skarin O. I., Nemchinova L. A., Tkachenko M. I., Yagudin R. A.** Development of beneficiation technology of copper-zinc ores with preliminary cleaning of -5 mm size category ..... 57  
**Sanakulov K. S., Mustakimov O. M., Ruziev N. R., Zimin A. V., Arustamyan M. A., Arustamyan K. M.** Ore beneficiation with large-size gold grains using schemes and equipment developed by "NPO "RIVS" ..... 60  
**Nazarov Yu. P., Smirnov Yu. A.** Experience of flotation beneficiation of iron ores ..... 64  
**AUTOMATICS AND METHODS OF ANALYSIS OF BENEFICIATION PROCESSES**  
**Trushin A. A., Sedov A. V., Lyubichenko A. A., Nikandrov I. S.** Systems of automatic regulation of flotation process manufactured by "NPO "RIVS" ..... 69  
**Bondarenko A. V.** A version of development of automation system of analytic pulp control ..... 75  
**Bondarenko A. V.** Thermoluminescent method of ore beneficiation ..... 81  
**Andreev D. S.** Features of X-ray fluorescent analysis of high carbonate fluorite ores ..... 84  
**RECONSTRUCTION OF EXISTENT PLANT AND CONSTRUCTION OF NEW BENEFICIATION PLANTS**  
**Ganbaatar Z., Nazarov Yu. P., Polyanskiy M. V.** Project solutions during reconstruction of the main shop of "Erdenet" enterprise" using equipment developed by "NPO RIVS" ..... 87  
**Gibadullin Z. R., Mingazhev A. Zh., Zimin A. V., Kalinin E. P., Nemchinova L. A., Tkachenko M. I.** Reconstruction of Sibaysky beneficiation plant using technology and equipment developed by "NPO "RIVS" ..... 93  
**Sanakulov K. S., Ruziev N. R., Arustamyan M. A., Smirnov Yu. P.** Experience in designing and "turn key" construction at Zarmitanskaya gold extracting plant ..... 97  
**EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENT PROTECTION**  
**Yurlova N. A.** Ecological aspects in designing of objects and enterprises of mining industrial complex ..... 101

А. В. ЗИМИН / ЗАО «НПО «РИВС»

## ЭКОНОМИЧЕСКИЙ КРИЗИС И ЗАО «НПО «РИВС»



А. В. ЗИМИН

генеральный директор ЗАО «НПО «РИВС»

В середине 2008 г. разразился мировой экономический кризис, охвативший практически все развитые страны. Экономический кризис — это серьезное нарушение в обычной экономической деятельности предприятий. Одной из форм проявления кризиса является систематическое, массовое неисполнение долгов и невыполнение их владения в разумный срок.

Следствием экономического кризиса является уменьшение реального валового национального продукта, массовый банкротства и банкротства, снижение капитальной стоимости населения.

Отражением кризиса является оживление мировой экономики, что привело к снижению цен выпускаемой продукции, сокращению объемов производства комбинатами, сокращению числа предприятий.

Для примера на рис. 1 и 2 приведены котировки цен на медь и никель. Как видно, пик падения цен пришелся на период осень 2008 г. — весна 2009 г.

Чтобы сохранить и приумножить достигнутые объемы производства, ЗАО «НПО «РИВС» были определены новая стратегия и главные направления деятельности, которые позволили бы сохранить интерес инвесторов (заказчиков) к продолжению сотрудничества с Объединением.

- убедительность предложений об использовании опыта получения дополнительной продукции на складах предприятий за счет разработки и внедрения новых прорывных технологий;

- применение надежного, высокоэффективного, проверенного в условиях промышленной эксплуатации оборудования ЗАО «НПО «РИВС»;

- готовность Объединения выполнить для заказчиков весь комплекс работ: лабораторные исследова-

ния, технологический регламент, проект, изготовление, поставка и монтаж маляды оборудования, сдача «под ключ» с получением гарантированных технологических показателей.

Выбранная стратегия себя полностью оправдала. Несмотря на трудности, связанные с экономическим кризисом, ведущие предприятия отрасли России и зарубежных стран предлагали работы по совершенствованию технологий обогащения минерального сырья с целью снижения затрат на выпуск конечной продукции, по реконструкции производства и модернизации или замене старого оборудования. В этих работах Объединение приняло непосредственное участие.

ЗАО «НПО «РИВС» в 2008–2010 гг. не только не уменьшило объем научно-исследовательских, конструкторских и проектных работ, выполняемых в предыдущие годы, но и увеличило их, рост объемов производства в 2008–2010 гг. существенно вырос.

Объединение успешно развивает следующие основные направления своей деятельности:

- совершенствование схем и технологии рудоподготовки;
- разработка новых прорывных технологий обогащения минерального сырья, позволяющих значительно повысить технологические показатели, несмотря на вовлечение в переработку более бедных и труднообогатимых руд;

- увеличение объема проектных работ с использованием преимущества проектирования.

ЗАО «НПО «РИВС» успешно разрабатывает и изготавливает новое обогатительное оборудование: флотомашины и чаше различного назначения с камерами объемом до 200 м<sup>3</sup>; агитационные и отгирочные комп-



Торжественный пуск в эксплуатацию III флотационной секции обогатительной фабрики КИМ «Предприятие «Эрдэвэл», 2010 г.

© Зимин А. В., 2010



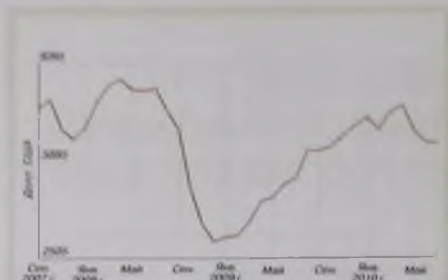


Рис. 1. Динамика цен на медь, долл. США за 1 т



Рис. 2. Динамика цен на никель, долл. США за 1 т



Строительство корпуса полугашиномельничной на Запорожском ММК



Реконструированное отделение флотации на обогатительной фабрике ГОКа «Бир-Ушкур»

лексы; грохоты специального назначения под условия заказчика; гидроциклоны; пульподелители; лабораторное оборудование.

Большой объем работ проводится по автоматизации технологических процессов: разработаны, изготавливаются и внедряются разработки Объединения в современных АСУТП обогатительных фабрик.

Созданный Аналитический центр обеспечивает аналитическим контролем технологические исследования, которые проводятся в ЗАО «НПО «РИВС», а также выполняет весь комплекс работ по оснащению горно-обогатительных предприятий современным аналитическим оборудованием и программно-техническими средствами как для нужд исследовательских и химических лабораторий, так и с целью создания автоматизированных систем аналитического контроля, функционирующих в составе АСУТП.

Разработка новых технологий обогащения минеральной осырью и выполнение проектных работ осуществляются при участии экологов Объединения, обеспечивающих соблюдение существующих экологических требований и нормативов.

Объединение, благодаря правильно выбранным направлениям своей деятельности, смогло в период

мирового экономического кризиса не снижать темпы своего развития, обеспечивать стабильность работ, сохранить и увеличить квалифицированный кадровый состав, успешно разрабатывать и внедрять новые проектные решения, технологии и оборудование на обогатительных производствах, сохранить и расширить перечень предприятий, с которыми фирма успешно сотрудничает многие годы, доказывая свою надежность и компетентность.

Объединение имеет 62 действующих патента, прошло аттестацию и получило сертификат соответствия качества требованиям национальных и международных стандартов серии ГОСТ Р ИСО 9001-2008 (учетный номер систем качества — 10009).

Девиз фирмы «Залог успеха — стабильность» сохраняется, несмотря на мировой экономической кризис.

Зимин Алексей Владимирович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

КДН 632.730

О. И. СКАРИН, П. И. КРУППА, А. И. ИВАНОВ / ЗАО «ИТО-РИБС»

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПОЛУСАМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИЕЙ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПИТАНИЯ МЕЛЬНИЦ



**О. И. СКАРИН**,  
ведущий специалист  
КДН, техн. наук



**П. И. КРУППА**,  
зам. генерального  
директора  
по рудоподготовке,  
КДН, техн. наук



**А. И. ИВАНОВ**,  
начальник службы  
выбросов  
и рудоподготовки

*Развитием и успешностью производства руды, направленной на интенсификацию процесса полусамозмельчения путем снижения узлов предварительного дробления и обдирания материала в дробильном материале критической крупности.*

*Ключевые слова:* полусамозмельчение, предварительный дробильный материал, критический класс крупности, обдирание, питательный класс.

Процесс полусамозмельчения (ПСИ) впервые стал серьезно рассматриваться при проектировании циклов рудоподготовки с середины 1960-х годов как альтернатива стандартной технологии, включающей трехстадийное дробление с последующим двухстадийным измельчением в стержневых и шаровых мельницах.

Длительное время широкое внедрению этого процесса препятствовала его высокая чувствительность к изменчивости физико-механических свойств (крепости, гранулометрического состава) перерабатываемого сырья и более высокая энергоемкость по сравнению со стандартной технологией. Считалось, что наилучшие показатели самоизмельчения достигаются при переработке влажных, вязких и глинистых видов сырья, когда дробление в конусных дробилках малоэффективно или когда возникают трудности при транспортировании и складировании дробленых продуктов.

После появления и успешного внедрения в 1970–1980-х годах таких способов интенсификации процес-

са самоизмельчения, как догрузка в мельницу стальной шаров, вывод из мельницы трудноизмельчаемого (критического) класса крупности, последующее додробление (галечное дробление) его в отдельном цикле, область применения самоизмельчения существенно расширилась.

С развитием интенсифицированных способов самоизмельчения повысилась производительность мельниц ПСИ, их стали применять для измельчения более крепких пород. Технологией самоизмельчения минерального сырья разного вида стала фактически универсальной и в большинстве случаев обеспечивает высокие технико-экономические показатели.

Известным преимуществом процесса ПСИ является возможность работы мельниц на крупнодробленой руде – 150(120) мм (здесь и далее крупность указана по  $D_{80}^*$ ). При этом руды, технология самоизмельчения благоприятна (чем крупнее, тем лучше) как для самоизмельчения, так и для ПСИ.

Вместе с тем имеющийся опыт многолетней работы большинства предприятий свидетельствует о том, что эффективную работу мельниц ПСИ определяет не только размер максимального куска, но и определенное соотношение в питании мельниц содержания фракций различной крупности.

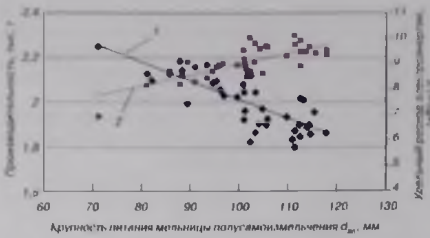
Влияние гранулометрического состава питания мельниц ПСИ на обогатительной фабрике Cadia Hill на эффективность ее работы в течение длительного времени наглядно иллюстрируется результатами, представленными на рис. 1 [1].

На ряде предприятий управление крупностью питания (ее снижение) осуществляют путем регулирования шели первичной дробилки и (или) изменением параметров взрывной отбойки (уменьшением сетки скважин, увеличением удельного расхода ВВ, улучшением качества бурения).

Наиболее распространенным способом стабилизации работы мельниц ПСИ является организация узлов додробления галей. Применение этого технологического приема обусловлено необходи-

\*  $D_{80}^*$  — номинальная (условная) крупность продукта, соответствующая размеру отверстия сита, на котором просев составляет 80 %.





**Рис. 1.** Влияние крупности питания на эффективность работы мельницы полуавтоматического дробления: 1 — производительность; 2 — удельное потребление электроэнергии

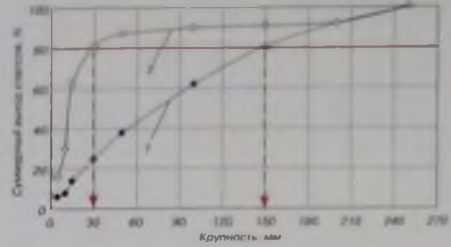
мостью разрушения выходящих из мельниц ПСИ фракций критической крупности ( $\sim 75+12$  мм), которые обычно возвращают в мельницу ПСИ.

Считается, что наибольший эффект от применения узлов галечного дробления достигается при увеличении крепости руды, что может проявиться (или нет) только в процессе длительной эксплуатации предприятия. При этом отмечается, что эффект дробления аналогичен увеличению шаровой загрузки или размера шаров, так как способствует увеличению производительности и снижению удельного расхода электроэнергии.

Однако на ряде предприятий в результате углубления карьеров или перехода к эксплуатации новых рудных тел в переработку длительное время поступали руды повышенной крепости, что приводило к снижению производительности мельниц, несмотря на наличие узлов галечного дробления.

С целью интенсификации процесса измельчения крепких руд, а также снижения эксплуатационных затрат (за счет увеличения производительности установленных измельчительных мощностей) в 1990-е годы на некоторых предприятиях был разработан и внедрен технологический прием, предусматривающий исключение классов критической крупности из питания мельниц ПСИ. В технической литературе этот прием, сочетающий операции предварительного выделения из крупнодробленной руды фракции промежуточной крупности и ее дробление в конусных дробилках среднего дробления, получил название «преддробление» (pre-crushing).

Данные рис. 2 показывают, что, при выделении из первично дробленной руды ( $d_{80} = 150$  мм) фракции крупностью, например,  $\sim 200+30$  мм в количестве  $\sim 50\%$  от исходного продукта и ее последующего вторичного дробления, крупность совокупного питания мельницы ПСИ составляет  $\sim 30$  мм. При этом количество материала, в котором могут содержаться фракции критической крупности ( $\sim 200+30$  мм), уменьшается почти в 4 раза — с 75 до 19%. Одновременно происходит существенное увеличение содержания в питании мельницы кусков, размер которых близок размеру отверстий разгрузочной решетки. Вследствие этого мелкий материал проходит через мельницу, практи-



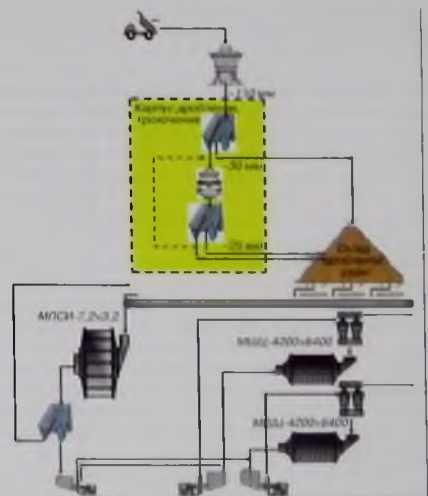
**Рис. 2.** Гранулометрический состав исходного питания мельницы ПСИ при одно- и двухстадийном дроблении: 1 — крупнодробленая руда; 2 — среднедробленая руда

чески не подвергаясь измельчению (так называемый свободно измельчаемый материал). В конкретном случае содержание, например, класса крупности  $\sim 15$  мм в среднедробленном питании в 4,5 раза выше, чем в крупнодробленной руде (63 и 14% соответственно).

В настоящей статье изложены результаты внедрения двухстадийного дробления на четырех обогатительных фабриках: St. Ives и Fimiston (Австралия), Inmet Trail Mine (Канада), Ray (США).

Перечень применяемого на фабриках оборудования и основные показатели работы предприятий при различной крупности исходного питания мельниц приведены в табл. 1.

**Обогатительная фабрика St. Ives** проектной производительностью 1,8 млн т/год (223 т/ч при КИО = 0,92) [2] введена в эксплуатацию в 1988 г. для переработки золотосодержащей руды. Проектом предусматривалась работа мельницы ПСИ на крупнодробле-



**Рис. 3.** Технология рудоподготовки на ОФ St. Ives после реконструкции

**Таблица 1. Характеристики рудодобывающих породных объектов фабрик с разными условиями питания**

Объекты для испытаний к.1, 2 стадии	До реконструкции		После реконструкции	
	Узел дробления галл		Узел дробления руд	
	Грохоты	Дробилки	Грохоты	Дробилки
	ОБ 30 млн 1,2 млн т/год (225 т/ч)			
МПСД 7,2×4,2 (1 кв.) V = 121 м <sup>3</sup> N = 750 кВт	Виброгрохот d <sub>кр</sub> = 5×25 мм	—	Виброгрохот (2 кв.) d <sub>кр</sub> = 35 мм	Дробилка Сумит. 450 кВт
МЦД 4,2×4,4 (2 кв.) V = 82 м <sup>3</sup> N = 3400 кВт	—	—	Грохоты	Дробилки
	ОБ 40 млн Тройа 4Мн 4,25 млн т/год (310 т/ч)			
МПСД 9,2×3,97 (1 кв.) V = 268 м <sup>3</sup> N = 3250 кВт	Двухрядный виброгрохот d <sub>кр</sub> = 25×31 и 7×25 мм	Норберг 1580	Двухрядный виброгрохот d <sub>кр</sub> = 152 и 25×31 мм	НР 700 450 кВт
МЦД 5,5×6,7 (1 кв.) V = 187 м <sup>3</sup> N = 4600 кВт	—	—	—	—
	ОБ Умидан 8 млн т/год (1020 т/ч)			
МПСД 11,0×4,86 (1 кв.) V = 480 м <sup>3</sup> N = 10000 кВт	Бункер d <sub>кр</sub> = 7 мм	—	Виброгрохот (7 кв.) d <sub>кр</sub> = 50 мм	Гидроагрегат (7 кв.)
МЦД 5,5×7,8 (2 кв.) V = 188 м <sup>3</sup> N = 4500 кВт	—	—	—	—
	ОБ Рая 10,8 млн т/год (1300 т/ч)			
МПСД 10,4×5,2 (1 кв.) V = 445 м <sup>3</sup> N = 10000 кВт	Двухрядный виброгрохот d <sub>кр</sub> = 35×31 и 7×25 мм	МР 1000	Двухрядный виброгрохот d <sub>кр</sub> = 152×178 и 100×100 мм	МР 1000
МЦД 5,3×8,7 (2 кв.) V = 188 м <sup>3</sup> N = 4675 кВт	—	—	—	—

ной руде (d<sub>кр</sub> = 110 мм) по классической технологии, включающий узел галлного дробления и измельчение подрешетного продукта грохота крупностью — 10 мм в шаровых мельницах. Фактически подрешетный продукт грохота возвращался в мельницу ПСИ без дробления, и максимально достигнутая производительность цикла составляла ~2 млн т/год.

После трех лет эксплуатации с целью увеличения производительности фабрики был организован дополнительный узел дробления первично дробленной руды. Узел включал операции предварительного грохочения по зерну 35 мм, контрольного грохочения по зерну 25 мм, дробления материала крупностью — 110×35 мм в конусной дробилке. Работа мельниц осуществлялась по прежней схеме, т.е. подрешетный продукт грохота возвращался в мельницу ПСИ без дробления, подрешетный продукт направлялся в шаровые мельницы (рис. 3).

При работе по такой схеме крупность питания мельницы ПСИ составила d<sub>кр</sub> = 25–30 мм, производительность фабрики — 3,2 млн т/год (406 т/ч при КИО = 0,9).

По сравнению со старой с крупнодробленным питанием технология с переработкой мелкодробленной руды обладает следующими отличиями:

- производительность цикла по исходной руде практически в 2 раза больше;
  - расход электроэнергии на 1 т исходного питания в 1,4 раза меньше;
  - крупность подрешетного продукта грохота на разгрузке мельницы ПСИ (питании шаровых мельниц) увеличивается с 0,5 до 2 мм;
  - крупность готового продукта цикла измельчения составляет 54 и 68 % класса — 0,074 мм соответственно.
- Длительная эксплуатация мельницы ПСИ на мелком питании выявила несколько основных, ранее не проявлявшихся проблем:
- высокие затраты на обслуживание и сокращение срока службы футеровки;
  - снижение коэффициента использования мельницы в связи с частыми остановками на замену футеровки;
  - увеличение расхода шаров;
  - высокие затраты на содержание и обслуживание узла среднего дробления.

Для получения приемлемых технологических и эксплуатационных показателей было рекомендовано увеличить крупность исходного питания мельницы ПСИ до d<sub>кр</sub> = 40–50 мм, производительность снизить до 340–350 т/ч (~2,8 млн т/год при КИО = 0,92). Общая степень заполнения мельницы — 24 % при шаровой загрузке 13–15 %.

**Обогатительная фабрика Inmet Trolius Mine [3]** проектной производительностью 3,65 млн т/год введена в эксплуатацию в 1996 г. для обогащения медной золотосодержащей руды. Технологическая схема включала первичное дробление, полусамозмельчение, галечное дробление, шаровое измельчение. В течение первых двух лет эксплуатации фабрика достигла производительности ~4 млн т (510 т/ч) при степени общего заполнения мельницы ПСИ до 30 % и 10 %-ной шаровой загрузке.

В 1998 г. с целью снижения эксплуатационных затрат было принято решение увеличить суточную производительность фабрики до 695 т/ч посредством организации двухстадиального дробления исходного питания мельницы ПСИ. Был принят во внимание опыт эксплуатации узлов предварительного дробления на австралийских предприятиях, который свидетельствовал, что достижение более высокой производительности

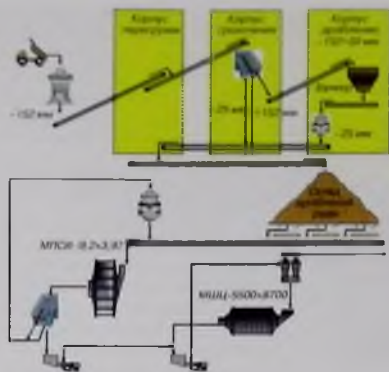


Рис. 4. Технология рудоподготовки на ОФ Inmet Troilus Mine после реконструкции

нередко сопровождается потенциально невыгодными высокими эксплуатационными расходами.

В то же время известные результаты опытных испытаний с предварительным дроблением свидетельствовали о возможности существенного увеличения производительности при дроблении материала крупностью  $-152+76$  мм до 25 мм.

Практикой работы предприятия установлено, что при относительно постоянных характеристиках руды ее суточный тоннаж мог изменяться на 20–30 %, что обуславливалось количественным соотношением в исходной руде мелких фракций крупностью  $-35(-40)$  мм.

В связи с этим вариант предварительного дробления был признан лучшей альтернативой, поскольку не только обеспечивал получение питания желательного диапазона крупности, но и, что более важно, рациональных параметров работы мельницы ПСИ (30 %-ное внутримельничное заполнение при 10 %-ной шаровой загрузке).

В соответствии с принятым решением проектная технологическая схема была изменена следующим образом (рис. 4):

- построен корпус грохочения для установки двухдечных грохотов с отверстиями верхней деки размером 152–152 мм, нижней —  $7 \times 25$  мм;
- конвейер, установленный на разгрузке первичной дробилки, демонтирован и перемещен в построенный корпус;
- барабанный грохот мельницы ПСИ заменен двухдечным грохотом с отверстиями верхней деки размером 25–51 мм, нижней —  $7 \times 25$  мм;
- увеличена мощность насоса и установлена более производительная батарея гидроциклонов, работающая в замкнутом цикле с шаровой мельницей.

После выполнения этих мероприятий (затраты составили 6,8 млн долл. США в ценах 1998 г.) фабрика в течение длительного времени осваивала режим работы рудоподготовительного цикла на питании мельницы ПСИ рудой крупностью  $d_{80} = 65-80$  мм, с целью достижения планируемой производительности

685 т/ч. В ходе эксплуатации выявлены следующие особенности работы мельницы ПСИ на мелких питаниях:

- при увеличении объемной загрузки мельницы до 30 % циркулирующая нагрузка увеличивалась, мельница перегревалась, материалом критической крупности и приходилось снижать ее производительность по исходному питанию; кроме того, подачу исходного питания в мельницу требовалось уменьшать вследствие превышения пропускной способности существующей галечной дробилки; в связи с этим представлялось возможным эффективно, т.е. более полно, использовать установочную мощность привода мельницы;
- расход шаров увеличился на 15–25 % вследствие: более низкого, чем предполагалось, объема загрузки мельницы и разрушающего воздействия шаров на ее корпус;

• крупность подрешетного продукта грохота мельницы ПСИ до реконструкции составляла  $\sim 1,3$  мм, после расширения увеличилась до 2,4 мм;

• циркулирующая нагрузка шаровой мельницы достигла 300 %, и существующий насос перегревался, хотя его номинальная мощность была увеличена.

В дальнейшем был выполнен целый ряд мероприятий, включающий увеличение диаметра шаров со 127 до 133 мм, переход на новую конструкцию футеровки, установку галечной дробилки и насоса больших типоразмеров, подбор формы и размера отверстий просеивающих поверхностей грохотов и др. Полная стоимость работ, включая инженеринговые услуги, составила 11,3 млн долл. США.

В конечном итоге обработка фракции критической крупности перед циклом ПСИ способствовала увеличению его производительности до 685 т/ч (на 34 %). Расход электроэнергии на дополнительное дробление (0,64 кВтч/т) привел к снижению удельного расхода электроэнергии на измельчение на 31 %, эксплуатационных расходов — на 19 %.

**Обогатительная фабрика Fimiston** [4] предприятия KCGM введена в эксплуатацию в 1989 г. для переработки 2 млн т/год сульфидной золотосодержащей руды. В 1994–1995 гг. производительность фабрики увеличена до 7,5 млн т/год путем установки новой, самой крупной на тот момент, мельницы ПСИ диаметром 10,97 м с приводом мощностью 12 МВт.

Опыт работы этой фабрики интересен тем, что технология предварительного дробления была предусмотрена проектом, в соответствии с которым питание мельницы осуществлялось из действующего цеха среднего дробления.

Проектная схема рудоподготовки (рис. 5) включала следующие основные операции:

- крупное дробление руды в конусной дробилке;
- грохочение крупнодробленой руды крупностью  $-150$  мм на виброгрохотах по зерну 50 мм;
- среднее дробление в двух конусных дробилках фракции  $-150+50$  мм до крупности  $-40$  мм;
- измельчение мелкодробленой руды крупностью  $d_{80} = 35-45$  мм в мельнице ПСИ, оснащенной бутарой с отверстиями размером 7 мм;
- возврат надрешетного продукта бутары конвейерным транспортом в мельницу ПСИ (без додраблывания);



• измельчение подрешетного продукта бутары крупностью  $d_{90} = 1,7-1,8$  мм в шаровых мельницах до крупности слива гидроциклонов  $d_{90} = 0,116$  мм (–65 % класса –0,074 мм).

При работе по такой схеме проектная производительность мельницы (1000±50 т/ч) была достигнута при 15 %-ной шаровой загрузке и очень низком уровне загрузки рудой — на 1–2 % больше объема шаров.

Следующая эксплуатация показала, что для поддержания проектной производительности мельница должна работать с высокой загрузкой шаров и очень небольшой загрузкой материала.

Продолжительная работа в таком режиме выявила следующие недостатки

- чрезмерный износ лифтера и футеровки, поскольку они не были защищены породной загрузкой, обычной при работе мельницы ПСИ на крупнодробленой руде;
- наблюдается перегрузка мельницы в тех случаях, когда количество поступающей руды превышает объем шаровой загрузки даже на 2–3 %, что затрудняет поддержание максимальной скорости бесперебойной подачи питания;
- в связи с низкой загрузкой мельницы рудой происходит увеличение крупности измельченного продукта, что приводит к несоответствию требуемой крупности слива гидроциклонов шаровых мельниц.

Для устранения выявленных недостатков и выбора стратегии оптимизации рудоподготовительного цикла были проведены сравнительные промышленные испытания при работе мельницы ПСИ на крупнодробленой руде и на смеси крупно- и мелкодробленой руды (при одной работающей дробилке КСД).

По результатам изучения процесса измельчения в течение длительного периода работы (табл. 2) выявлено, что при переработке смеси крупно- и среднедробленой руды достигается наиболее высокая производительность мельницы при получении более тонкого конечного продукта цикла.

Характерно, что при работе мельницы ПСИ на крупнодробленой руде ее общая загрузка легко поддерживалась на уровне 24–28 %. В варианте с одной работающей дробилкой общая загрузка мельницы составляла 19–21 %. Вследствие этого в обоих случаях, несмотря на меньшую шаровую загрузку, достигнут более высокий уровень потребляемой электроэнергии. В этих условиях мельница ПСИ работает в наиболее устойчивом режиме.

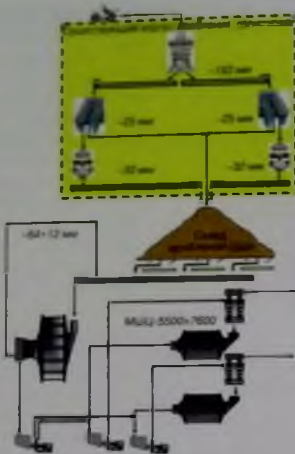


Рис. 5. Проектная схема рудоподготовки на ОФ Fimiston

По результатам промышленных испытаний для дальнейшей эксплуатации был принят вариант работы с одной дробилкой КСД и организацией галечного дробления в передвижной дробилке, что позволило быстро увеличить производительность рудоподготовительного цикла до 9,5 млн т/год (~1250 т/ч).

В настоящее время мельница ПСИ работает только на крупнодробленой руде с додроблением надрешетного продукта бутары. В связи с проведением ряда других мероприятий (в первую очередь регулированием крупности исходной руды с помощью параметров взрывной отбойки) производительность фабрики за 4-летний период с момента пуска возросла до 12,5 млн т/год (~1560 т/ч).

**Обогатительная фабрика Яу** [5] производительностью 11 млн т/год (1305 т/ч) введена в эксплуатацию в 1992 г. для обогащения медной руды,

в которой вмещающие породы преимущественно представлены диабазом. Проектная технологическая схема включала первичное дробление, полусамоизмельчение, галечное дробление, шаровое измельчение.

После успешного ввода в эксплуатацию и пяти лет относительно стабильной работы в переработку стали поступать более крепкие руды (с повышенным содержанием диабазовой породы), что привело к снижению проектной производительности измельчительного передела. Для поддержания достигнутого уровня переработки в 1998 г. было принято решение об организации узла преддробления, который включал следующие операции:

- грохочение крупнодробленой руды крупностью –150 мм на двухдечных виброгрохотах с отверстиями верхней деки размером 152×178 мм, нижней — 100×100 мм;

Таблица 2. Результаты сравнительных испытаний на ОФ Fimiston

Параметры измельчения	Питание мельницы ПСИ		
	Мелкое*	Среднее**	Крупное
Крупность $d_{90}$ , мм	39	117	152
Производительность, т/ч	1070	1086	1033
Крупность подрешетного продукта $d_{90}$ , мм	1,9	1,49	1,25
Степень загрузки (шары/общая), %	15/16	12/19	13/29
Удельный расход электроэнергии мельницы ПСИ, (кВт·ч)/т	7,85	11,2	8,66
Циркулирующая нагрузка шаровой мельницы, %	300	306	283
Крупность питания флотации $d_{90}$ , мкм	230	158	107
Общий удельный расход электроэнергии, (кВт·ч)/т	15,5	15,4	18,7

\* — при работе двух дробилок КСД; \*\* — при работе одной дробилки КСД.

Таблица 3. Результаты сравнительных испытаний на ОФ Ray

Параметры измельчения	Крепкие руды		Мягкие руды	
	Питание мельницы ПСИ			
	Мелкое	Крупное*	Крупное**	Крупное**
Крупность $d_{80}$ , мм	37	89	148	74
Производительность, т/ч	1310	880	816	1682
Крупность подрешетного продукта $d_{80}$ , мм / класса -0,15 мм, %	4,9/38,4	4,8/45,7	1,2/53,1	1,8/47,6
Степень загрузки (шары/общая), %	12/21,3	12/21,6	8,5/34,3	6,8/20,7
Удельный расход электроэнергии мельницы ПСИ, (кВт·ч)/т	6,5	10,2	14,2	6,1
Циркулирующая нагрузка шаровой мельницы, %	250	135	123	-
Крупность питания флотации $d_{80}$ , мкм	111	139	60	96
Общий удельный расход электроэнергии, (кВт·ч)/т	14,6	22,0	25,7	11,7

\* и \*\* — при ширине разгрузочной щели дробилки крупного дробления 100 и 175 мм соответственно.

• среднее дробление фракции -150+100 мм в конусной дробилке до крупности -35 мм.

Узел был введен в эксплуатацию в мае 1999 г., полная стоимость работ, включая инжиниринговые услуги, составила 11 млн долл. США.

Средняя за месяц суточная производительность измельчительного цикла в различные периоды работы фабрики приведена на рис. 6. Первый период характеризует работу цикла измельчения на крупнодробленой руде средней крепости (без преддробления), второй — этапы освоения и оптимизации узла преддробления при переработке наиболее крепких руд, третий — работу мельницы ПСИ при переработке мягких руд на крупнодробленом питании.

Особый интерес представляют сравнительные результаты промышленных испытаний, выполненных до и после внедрения узла додробления, в периоды поступления на фабрику руд повышенной крепости (табл. 3). Анализ приведенных данных свидетельствует о следующем:

• производительность мельницы ПСИ, независимо от крупности питания, непосредственно зависит от

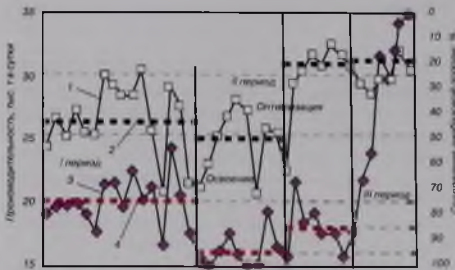


Рис. 6. Зависимость производительности мельницы ПСИ от крепости и крупности руды:

1 — производительность; 2 — среднее значение за период; 3 — содержание диабазовой породы; 4 — среднее значение за период

крепости руды, которая в данном случае определяется содержанием в ней диабазовой породы;

• при поступлении в переработку крепких руд применение технологии двухстадиального дробления уже на стадии освоения позволило поддержать приемлемую производительность цикла, а после выполнения мероприятий по ее оптимизации она увеличилась с 26 тыс до 31 тыс т (см рис 6), аналогичная производительность при переработке мягких руд (менее 30 % диабазовой составляющей) достигается без применения узла преддробления;

• при переработке мелкодробленой руды производительность цикла увеличилась на 60 %, расход электроэнергии относительно крупнодробленой руды ( $d_{80} = 148$  мм) уменьшился на 57 %.

Выполненный анализ позволяет выделить общие характерные особенности работы рудоподготовительных циклов до и после внедрения операции предварительного дробления исходного питания мельниц ПСИ.

Все циклы изначально оснащены узлами галечного дробления, включающими грохочение разгрузки мельницы и возврат в нее надрешетных продуктов крупностью -70(35)+10(7) мм в количестве 5-25 %. При этом додробление гали первоначально осуществлялось на двух фабриках.

В процессе освоения и последующей эксплуатации технологии двухстадиального дробления на асех рассмотренных фабриках организовано и додробление гали.

При переработке крупнодробленого материала степень заполнения мельниц ПСИ в зависимости от свойств руды составляет 25-30 %, загрузка шаров — 8-15 %, что способствует устойчивой, управляемой работе мельниц и обеспечивает наиболее полное использование установочной мощности.

При переходе на мелкое питание увеличение производительности цикла достигается при более высоком уровне шаровой загрузки и снижении общего внутримельничного заполнения до 15-18 % (на 2-5 % выше уровня шаровой загрузки). Следует отметить, что при переработке крепких руд (ОФ Ray) степень внутримельничного заполнения практически не зависит от крупности исходного питания.

Работа мельниц ПСИ с низким уровнем рудного заполнения характеризуется следующими особенностями:

• повышением эксплуатационных затрат за счет увеличения расхода шаров, снижения сроков службы футеровки и коэффициента использования оборудования;

• неустойчивым режимом работы мельницы при изменении крепости руды, количества циркулирую-

цей гали, что приводит к частичной или полной перегрузке мельницы, необходимости снижения рудной загрузки до необходимого (минимального) уровня и вследствие этого — к уменьшению потребляемой мощности;

- увеличением циркулирующей нагрузки, укрупнением подрезного продукта мельницы ПСИ, загрузлением конечного продукта.

В связи с тем, что решения о применении узлов дробления, как правило, принимались без проведения предварительных испытаний, особое внимание уделялось созданию математических моделей цикла измельчения для выбора стратегии его оптимизации на базе моделирующего пакета JKSimMet компании JKMRС.

Наличие прогнозной модели позволило определить наиболее перспективные технологические и технические решения по оптимизации рудоподготовительного цикла до проведения каких-либо изменений.

Вместе с тем в ряде случаев спрогнозированные параметры работы мельниц ПСИ (степень заполнения рудой и шарами, циркулирующая нагрузка, крупность разгрузки и др.) или типоразмер и параметры рекомендованного оборудования (дробилок, грохотов, насосов) корректируются по результатам промышленных испытаний.

Специалистами ЗАО «НПО «РИВС», занимающими-ся процессами измельчения и полусамои измельчения руд различной крепости, разработана и защищена патентом [6] модель вывода и последующей переработки песковой части пульпы, что существенно повышает эффективность процесса измельчения.

#### Выводы

1. Снижение крупности исходного питания мельниц полусамои измельчения за счет сочетания узлов предварительного дробления исходного питания и додраблания выходящей из них гали обеспечивает существенное увеличение производительности измельчительного цикла при пропорциональном уменьшении удельного расхода электроэнергии. Наибольший положительный эффект применения двухстадийного дробления наблюдается при увеличении крепости руды, вследствие чего обеспечивается более рациональная степень заполнения мельниц ПСИ.

2. Внедрение узлов предварительного дробления, помимо изменения проектных аппаратурно-технологических схем, как правило, связано с выполнением целого комплекса мероприятий. Основными из них являются: переход на новую конструкцию футеровки, усовершенствование конструкции разгрузочных решеток, подбор типа и размера отверстий просеивающей поверхности грохотов, установка вспомогательного оборудования большего типоразмера, разработка и внедрение средств и систем управления мельницами ПСИ, в том числе определение гранулометрического состава исходного питания с помощью видео-контроля.

3. Обязательным условием эффективного внедрения двухстадийного дробления является разра-

боты имитационной модели прогнозирования производительности цикла в зависимости от крупности питания мельницы ПСИ и других параметров. Точность прогнозирующей модели определяется достоверностью предварительно выполненных испытаний по определению физико-механических свойств руды текущей и перспективной добычи, а также результатов промышленных испытаний измельчительного цикла для определения массовых балансов и основных технологических параметров при переработке руд с различными свойствами.

#### Библиографический список

1. Coleman R. E., Nugroho S., Neale A. J. Design and Start-up of the PT Freeport Indonesia No. 4 Concentrator. — Mining and Mineral Process Engineering, UBC, Vancouver, B.C. Canada, Vol. 1, SAG 2001.
2. Atasoy Y., Valery W., Skalski A. Сравнение крупного и среднего дробления в St. Ives перед циклом полусамои измельчения. — Mining and Mineral Process Engineering, UBC, Vancouver, B.C. Canada, Vol. 1, SAG 1996.
3. Sylvestre Y., Abols J., Barratt D. Экономический эффект, полученный в результате применения процесса предварительного дробления на предприятии Inmet Trolus Mine.
4. Nelson M., Valery Jr. W., Morrell S. Performance Characteristics and Optimisation of the Fimston (KCGM) SAG Mill Circuit. — Mining and Mineral Process Engineering, UBC, Vancouver, B.C. Canada, Vol. 1, SAG 1996.
5. McGhee S., Mosher J., Richardson M., David D., Morrison R. SAG Feed Pre-Crushing at ASARCO's Ray Concentrator: Development, Implementation and Evaluation. — Mining and Mineral Process Engineering, UBC, Vancouver, B.C. Canada, Vol. 1, SAG 2001.
6. Зимин А. В., Арустамян М. А., Серпецкий Б. П. и др. Патент RU66233U1. Линия флотации песков гидрочиклона. — БИ № 25, 10.09.2007 г. □

Скарин Олег Иванович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

Крупна Павел Иванович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

Иванов Александр Николаевич,  
e-mail: rivs@rivs.ru

#### INTENSIFICATION OF PROCESSES OF SEMIAUTOGENOUS GRINDING VIA OPTIMIZATION OF GRANULOMETRIC CONTENT OF MILLS FEEDING

Skarin O. I., Kruppa P. I., Ivanov A. N.

Existing technological solutions, directed on intensification of process semiautogenous grinding by combination of units of preliminary crushing of initial feeding and recrushing of materials with critical size has been considered.

**Key words:** semiautogenous grinding, preliminary crushing, critical fraction, recrushing, model simulation.



УДК 622.732

П. И. КРУППА, А. Н. ИВАНОВ, О. И. СКАРИН (ЗАО «НПО «РИВС»)

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМ РУДОПОДГОТОВКИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ



**П. И. КРУППА,**  
зам. генерального  
директора  
по рудоподготовке,  
канд. техн. наук



**А. Н. ИВАНОВ,**  
начальник отдела  
вибротехники  
и рудоподготовки



**О. И. СКАРИН,**  
ведущий специалист,  
канд. техн. наук

*Представлены результаты технико-экономических расчетов совершенствования технологии и модернизации оборудования схем рудоподготовки на действующих ГОКах, перерабатывающих руды, характеризующиеся повышенным содержанием мелочи (–5 мм) – более 20 %, глины – до 14 % и влаги – до 10–14 %. По новой технологии крупность дробленого продукта в питании мельниц снижается до –5 (14) мм вместо –28 (35) мм, что обеспечивает рост производительности измельчительного отделения на 20–30 % с одновременной экономией электроэнергии на 18–30 %, снижением расхода футеровки в 1,3 раза, измельчающих тел – на 19–24 %. Окупаемость капитальных затрат составляет 6–18 месяцев.*

**Ключевые слова:** руды черных и цветных металлов, влажность, наличие глины, дробление, грохочение, измельчение, дробилки, грохоты, мельницы.

При переработке руд на обогатительных фабриках черной и цветной металлургии наиболее затратным является передел рудоподготовки. Капитальные затраты от общих капитальных составляют 50–60 %, эксплуатационные от общих эксплуатационных — до 80 %. Их снижение может быть достигнуто при выполнении следующих условий:

- уменьшения крупности дробленого продукта в питании мельниц I стадии до 10–15 мм и менее;
- применения в стадиях дробления более производительного и эффективного дробильно-классифицирующего оборудования;
- рационального сопряжения в стадиях дробления дробилок, оснащенных автоматизированным дистанционным управлением, с целью получения в питании мельниц дробленого продукта (с учетом гранулометрического состава подрешетных продуктов) оптимальной крупности.

Важное значение при этом имеют физико-механические свойства перерабатываемых руд: гранулометрический состав, крепость, наличие мелочи, глины и влаги.

© Круппа П. И., Иванов А. Н., Скарин О. И., 2010

При соответствии свойств руды условиям ее эффективного разрушения в рабочей полости дробилок и модернизации технологии переработки с применением современного, более производительного и эффективного дробильно-измельчительного и классифицирующего оборудования возможно увеличение производственной мощности переделов рудоподготовки и обогащения на 20–30 % с одновременным повышением качества получаемых концентратов.

Вместе с тем следует отметить, что на ряде предприятий при отработке карьеров и шахт в течение последних 30–40 лет наблюдается ухудшение физико-механических свойств руды (возрастает содержание глины до 10 %, мелочи до 30–35 %, влаги до 14 % при норме не более 4 %). Причем тенденция к ухудшению качества руд с углублением горных работ сохраняется. При этом предприятия вынуждены эксплуатировать дробилки с увеличенными размерами разгрузочных щелей и повышением крупности дробленого продукта в питании мельниц I стадии до –40 мм.

При переработке руд с повышенным содержанием влаги и глины на предприятиях регионов с суровым климатом возникает еще одна проблема — смерзание в зимний период крупнодробленой руды в бункерах и других емкостях, что затрудняет прохождение руд через отверстия грохотов и дробящие полости дробилок среднего дробления.

Следствием наличия вышеперечисленных проблем является необходимость работы дробилок типа КСД и КМД на максимальных размерах разгрузочных щелей с закрупнением дробленого продукта перед измельчением до –30(40) мм, что является основной причиной снижения производительности стадий измельчения и секций обогащения.

ЗАО «НПО «РИВС» разработаны для ряда ГОКов предложения по модернизации технологий рудоподготовки и технического перевооружения стадий дробления и измельчения для руд с повышенным содержанием влаги и глины. В качестве примеров ниже приведены результаты технико-экономических расчетов, выполненных для ОАО «Коршуновский ГОК», ОАО «Учалинский ГОК» и ОАО «Кольская ГМК» [1–3].

### ОАО «Коршуновский ГОК»

Коршуновский ГОК введен в эксплуатацию в 1968–1972 гг. Годовой объем переработки железной

**Таблица 1. Характеристика руд, перерабатываемых на обогатительной фабрике Коршунского ГОКа**

Показатели	Коршунское месторождение	Рудногорское месторождение
Крепость руды по М. М. Протодайчикову	4-6	8-16
Содержание в руде %		
железа	27,3	39,3
глинистых продуктов влаги	До 10	8-10
	До 12	6-12

руды составляет 12,7 млн т. Основные источники сырья — Коршунское и Рудногорское месторождения. Характеристика руд приведена в табл. 1.

В состав обогатительной фабрики Коршунского ГОКа входят два корпуса крупного дробления, один корпус среднего и мелкого дробления (6 каскадов), корпус измельчения и обогащения (10 технологических линий). Дробление руды осуществляется в четыре стадии в корпусе крупного дробления № 1 и в три стадии — в корпусе № 2.

Парк дробилок характеризуется значительным физическим износом основного технологического оборудования. Дробилки ККД-1450/180 и КРД-900/100 находятся в эксплуатации от 35 до 42 лет (при нормативном сроке 15 лет), дробилки КСД-2200А и ГР — с 1963 г (3 ед.) и 1981 г (1 ед.), дробилки КМД-2200 — с 1981-1984 гг (при нормативном сроке 12,2 года).

Наличие руды с повышенным содержанием мелочи, глинистых продуктов и влаги дестабилизирует процесс дробления и вынуждает эксплуатировать дробилки с увеличением размера разгрузочных щелей, что приводит к повышению крупности дробленого продукта в питании мельниц 1 стадии измельчения до -40 мм. Гранулометрический состав совокупного дробленого продукта в питании мельниц МСЦ-3200-4500 приведен ниже.

Класс крупности, мм	Выход, %
+20	24,0
-20+12	18,4
-12+6	15,5
-6+4	8,6
-4+0,53	13,5
-0,53+0,07	11,0
-0,07	9,0
Итого	100,0

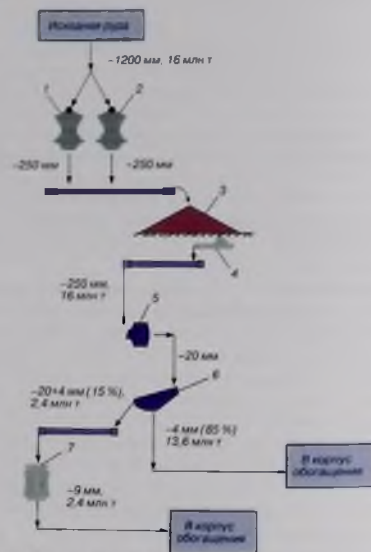
В настоящее время на комбинате проводятся работы по созданию на борту карьера Рудногорского рудника дробильно-обогатительного комплекса с применением сухой магнитной сепарации крупнодробленой руды, предусматривающие вовлечение в переработку до 4 млн т в год руды с некондиционным содержанием железа, что позволит увеличить общую производственную мощность по переработке до 16 млн т руды в год. Для обеспечения переработки такого объема разработаны два варианта модернизации технологии и техники рудо-подготовки обогатительной фабрики (рис. 1 и 2).

При выполнении мероприятий по варианту 1 предусматривается замена изношенной дробилки ККД-1450/180 строительством отделения с двумя мельницами полусамомизмельчения МПСИ-10,34×4,57, модернизация или замена мельниц МСЦ-3200×4500 и МШР-3600-5000 мельницами МШЦ-3200×4500, МШЦ-3600-5000 с загрузкой их шарами диаметром 80 и 60 мм.

При выполнении работ по варианту 2 предусматривается замена дробилки ККД-1450/180, установкой новых, более эффективных дробилок КСД-2200Т2-Д на стадии среднего дробления и КМД-2200Т6-Д — на стадии мелкого дробления, замена грохотов ГИТ-51Н на самобалансные грохоты ГРС-1750×4500, с одновременной организацией отмывки руды перед средним дроблением и обустройством отделения обогащения и фильтрации отмытой фракции крупностью -4 мм. Выделенные бедные хвосты предполагается направлять в востокохранилище, а промпродукт — в корпус обогащения. Кроме того, предусматривается также аналогичная первому варианту модернизация мельниц МСЦ-3200-4500 и МШР-3600-5000 и реконструкция бункеров крупнодробленой руды для обеспечения их обогрева и теплоизоляции в зимний период с целью предотвращения смерзания руды.

**ОАО «Учалинский ГОК»**

Учалинский ГОК введен в эксплуатацию в 1963 г. Годовой объем переработки медно-цинковой руды пер-



**Рис. 1. Модернизированная схема рудоподготовки на ОФ Коршунского ГОКа с применением мельниц полусамомизмельчения (вариант 1): 1 — дробилка ККД-1500/180ГРЦ, 1 ед.; 2 — дробилка ККД-1500/180, 1 ед.; 3 — склад крупнодробленой руды; 4 — пластинчатый питатель, 2 ед.; 5 — мельница полусамомизмельчения МПСИ-10,34×4,57, 2 ед.; 6 — грохот ГРС-2500×6000, 3 ед.; 7 — дробилка КМД-2200Т9-Д, 2 ед.**

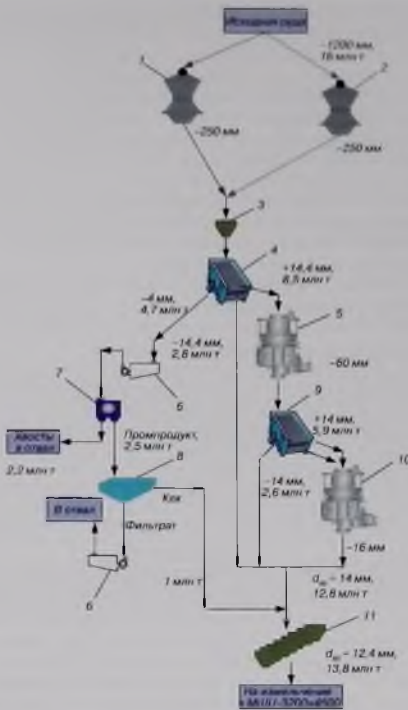


Рис.2. Модернизированная технологическая схема рудоподготовки на ОФ Коршуновского ГОКа (вариант 2):

1 — дробилка ККД-1500/180, 1 ед.; 2 — дробилка ККД-1500/180ГрЩ, 1 ед.; 3 — бункеры крупнодробленной руды; 4 — грохот ГРС-1750×4500, 4 ед.; 5 — дробилка КСД-2200Т2-Д, 4 ед.; 6 — зумпф с насосом; 7 — магнитный сепаратор ПБМ-150/200, 4 ед.; 8 — ленточный фильтр ЛОП-15, 4 ед.; 9 — грохот ГРС-1750×4500, 4 ед.; 10 — дробилка КМД-2200Т6-Д, 4 ед.; 11 — бункеры дробленой руды

воначально составлял 2,5 млн т. В результате поэтапной модернизации обогатительной фабрики в 2009 г. объем годовой переработки руды увеличен до 5,1 млн т.

В настоящее время на фабрике перерабатывают медные и медно-цинковые руды Узельгинского (нижние горизонты), Учалинского, Молодежного, Талганского и Озерного месторождений.

В соответствии с прогнозом развития рудной базы ОАО «Учалинский ГОК» в период 2011–2012 гг. ожидается следующее изменение объемов переработки по основным источникам сырья:

- объем Учалинской медно-цинковой руды уменьшится с 1,8 до 0,5 млн т;
- объем Узельгинской медно-цинковой руды нижних ярусов уменьшится с 1 до 0,6 млн т, верхних ярусов увеличится с 0,75 до 1,4–1,5 млн т;

• основным источником поддержания и увеличения объема переработки будут являться медно-цинковые руды Ново-Учалинского месторождения, количество которых увеличится до 2,2 млн т.

Общий планируемый объем переработки должен составить 6,5 млн т в год.

Руды, перерабатываемые на обогатительной фабрике ОАО «УГОК», характеризуются сложным вещественным составом, тонким взаимопрорастанием сульфидов и минералов пустой породы, что требует для их раскрытия стадийного тонкого измельчения перед флотацией. Содержание меди в зависимости от месторождения составляет 0,8–1,2 %, цинка 2,5–4,5 %. Истинная плотность руды — 3,2–4,6 т/м<sup>3</sup>, насыпная масса — 1,7 т/м<sup>3</sup>.

Многолетней практической работы фабрики установлено, что вовлечение в переработку руд подземной добычи сопровождается увеличением в них доли мелких фракций повышенной влажности, что отрицательно влияет на работу дробилок среднего и мелкого дробления и практически исключает возможность их эксплуатации на минимальных разгрузочных щелях. В последние годы влажность руды возросла по сравнению с первоначальной, особенно в весенне-осенний период, и составляет 10–14 %.

Содержание классов крупности в исходной руде составляет, %: –20 мм — до 40; –6 мм — до 30; –2 мм — до 18. Применяемые перед стадией мелкого дробления инерционные грохоты по тем же причинам работают с эффективностью грохочения менее 40 %, что также приводит к перегрузке и периодической запрессовке дробилок мелкого дробления даже при их работе на разгрузочных щелях завышенного размера. Вследствие этого номинальная крупность дробленной руды в питании мельниц I стадии существенно превышает 30 мм (см. ниже), что является определяющим фактором пониженной производительности мельницы и повышенными эксплуатационными расходами на наиболее затратном измельчительном переделе.

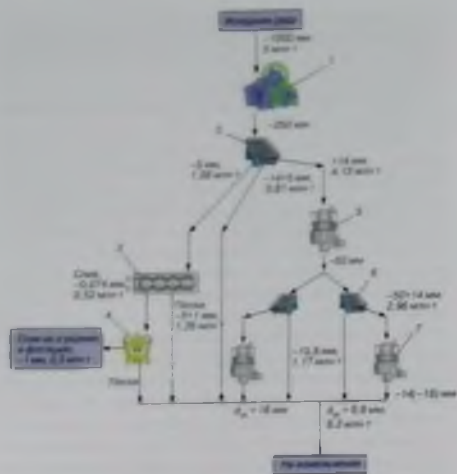
Классы крупности, мм	Выход, %
+30	15,0
–30+20	18,4
–20+10	31,9
–10+5	4,5
–5+3	6,2
–3+0,8	7,3
–0,8+0,074	12,5
–0,074	4,2
Итого	100,0

Парк машин основного технологического оборудования рудоподготовки является преимущественно физически изношенным со сроком эксплуатации до 37 лет (при нормативном сроке 10–15 лет).

Для обеспечения запланированного увеличения объема переработки руды до 6,5 млн т в год разработан вариант модернизации техники и технологии рудоподготовки обогатительной фабрики (рис. 3), предусматривающий выполнение следующих мероприятий:

- установку перед дробилками среднего дробления двух грохотов ГРС-2500·6000 для предваритель-





**Рис. 3. Вариант модернизации техники и технологии рудоподготовки на (ФУчалинского ГОКа:**  
 1 — дробилка ШДП-15-21; 2 — грохот ГРС-2500-6000, 2 ед.; 3 — классификатор 2КСН-30, 1 ед.;  
 4 — гидроциклон ГЦР-700, 2 ед.; 5 — дробилка КСД-2200Т2-Д, 2 ед.; 6 — грохот ГРС-1750-4500, 4 ед.;  
 7 — дробилка КМД-2200Т6К-Д, 3 ед.  
 (КМД-2200Т1-ДМ, 1 ед.)

ного грохочения и отмывки глинистых включений и шламов крупностью –5 мм;

- замену двух дробилок среднего дробления КСД-2200Гр на более производительные и эффективные КСД-2200Т2-Д;
- замену двух дробилок мелкого дробления КМД-2200 на более эффективные КМД-2200Т6К-Д;
- устройство в корпусе среднего и мелкого дробления системы сбора и перекачки отмытого (подрешетного) продукта крупностью –5 мм на классификацию и дальнейшее измельчение и обогащение;
- замену двух грохотов ГИТ-52 на более эффективные ГРС-1750х4500;
- перевод стержневых мельниц МСЦ-3600х4500 (3 ед.) на шаровые МШЦ-3600х4500 с загрузкой их шарами диаметром 80 мм.

**ОАО «Кольская ГМК»**

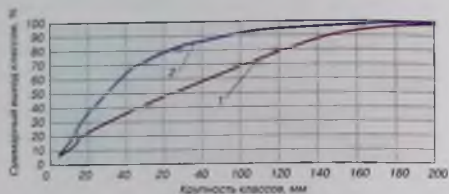
Обогатительная фабрика ОАО «Кольская ГМК» в г. Заполярном введена в эксплуатацию в 1965 г. Проектная мощность (5 млн т медно-никелевой руды в год) обогатительной фабрики достигнута в 1967 г. В настоящее время годовой объем переработки составляет 7,5 млн т руды.

Следует отметить, что крупнодробленая руда шахтной добычи содержит большую долю мелких классов со шламами повышенной влажности, что отрицательно сказывается на работе дробилок среднего и мелкого дробления и исключает возможность их эксплуатации на минимальных разгрузочных щелях. Применяемые на стадии мелкого дробления инерци-

онные грохоты по тем же причинам работают с эффективностью грохочения менее 40 %, что также приводит к перегрузке дробилок мелкого дробления и их работе на разгрузочных щелях завышенных размеров.

В перспективе, после ввода рудника «Северный» на полную производственную мощность, доля руды шахтной добычи в общем объеме руды возрастает до 80 %. При переходе фабрики на переработку руды преимущественно шахтной добычи влажность шихты будет возрастать, поскольку существующая в настоящее время система шихтовки руд открытой и подземной добычи в условиях уменьшения доли руд открытой добычи будет существенно изменена.

На рис. 4 приведена усредненная granulометрическая характеристика крупнодробленой шихты текущей добычи с примерно равным соотношением количества руд открытой и подземной добычи.



**Рис. 4. Гранулометрический состав крупнодробленой руды текущей (1) и перспективной (2) добычи**

При проведении исследования пробы руды подземной добычи (рудник «Северный», клетевой ствол) было выявлено, что при сухом расसेве пробы выход класса –2 мм составил 0,4 %, а после проведения последующей отмывки выход этого класса увеличился до 8,5 %. Это свидетельствует о том, что зерна указанной крупности в силу своей влажности распределяются по поверхности кусков большого размера и при сухом грохочении не отделяются и существенно усложняют процессы дробления руды и транспортирования.

Ниже приведен granulометрический состав объединенного дробленого продукта в питании мельниц I стадии измельчения.

Классы крупности, мм	Выход, %
+30	4,0
–30+20	13,5
–20+16	17,0
–16+12	24,1
–12+10	4,9
–10+5	15,7
–5	20,8
Итого	100,0

Для обеспечения запланированного увеличения объема переработки руды до 10 млн т в год разработан вариант модернизации техники и технологии рудоподготовки обогатительной фабрики, предусматривающий выполнение следующих мероприятий:

- устройство перед бункерами крупнодробленой руды узла грохочения с отмывкой влагосодер-

**Таблица 2. Ожидаемые технико-экономические показатели при реализации новой технологии переработки влажных глинистых руд с повышенным содержанием мелочи**

Показатели	Годовой объем переработки, млн т						
	ОАО «Коршунровский ГОК»		ОАО «Учлинский ГОК»		ОАО «Кольская ГМК»		
	Технологии переработки						
	Существующая	Модернизированная		Существующая	Модернизированная	Существующая	Модернизированная
		16,0					
12,7	Вариант 1	Вариант 2	5,1	6,5	7,5	10,0	
<i>Крупное дробление</i>							
Производительность стадии (дробилки), т/ч	3300 (1650)	3570 (1785)		970 (485)	1030 (515)	2000	2000
Крупность дробленого продукта, мм	-250	-250		-266	-250	-250	-250
<i>Среднее дробление (полусамозмельчение)</i>							
Производительность стадии (дробилки, мельницы), т/ч	2900 (260)	2030 (1015)	2609 (338)	970 (485)	928 (295)	1223 (408)	990 (330)
Крупность дробленого продукта, мм	-80	-20(4)		-60	-85	-90	-50
<i>Мелкое дробление</i>							
Производительность стадии (дробилки), т/ч	1507 (183)	-	1353 (232)	776 (194)	590 (113)	1223 (143)	329 (150)
Крупность дробленого продукта, мм	-20 (75,1 %)	-	$d_{95}=12,4$	$d_{95}=30,9$	$d_{95}=13,8$	-26,2	-13,3
<i>Тонкое дробление</i>							
Производительность стадии (дробилки), т/ч	420 (210)						
Крупность дробленого продукта	$d_{95} = 8,6$						
<i>Измельчение</i>							
Число секций обогащения, ед.	10	7	9	3	3	3	3
Производительность секции, т/ч	176,8	303,5	235,6	202	268	387,7 (I секц.) 53,9 (II и III секц.)	498,8 (I секц.) 63,8/91,3 (II и III секц.)*
Эксплуатационные расходы по наиболее затратным показателям (электроэнергия, футеровка, измельчающие тела, условно-постоянные расходы), млн руб. в год							
	623,9	619,4	592,9	1530	1483	744,1	815,2
Удельные эксплуатационные расходы, руб/т							
	49,1	38,7	37,1	300,0	228,1	99,2	81,5
Годовая экономия эксплуатационных расходов, млн руб.							
	-	166,4	192,0	-	467,4	-	177
Капитальные вложения (технологическое оборудование, строительно-монтажные работы, капитальное строительство, устройство технологических линий, узлов перегрузки и др.), млн руб.							
	-	2410,8	619,8	-	191,8	-	716,6
Чистая прибыль с учетом экономии эксплуатационных расходов, налогообложения, амортизационных отчислений, дополнительно полученного концентрата и др., млн руб. в год							
	-	1588,3	1750,6	-	1099	-	4723
Срок окупаемости капитальных вложений, лет							
	-	1,52	0,35	-	0,17	-	0,15

\* При установке удлиненных бесаппенных мельниц МШР-3600-7200 на фундаменты существующих мельниц МШР-3600-5000

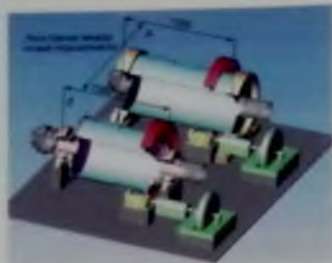


Рис. 5. Схематическое сравнительное изображение установки безщепной мельницы МШР-3600-7200 (а) и традиционной мельницы МШР-3600-5(к) (б)

жащей мелочи с глинистыми включениями, предполагающего каскадную установку двух грохотов ГРС-2500-6000, двух грохотов ГРС-1750-4500 и подачу надрешетного продукта крупностью +14 мм на существующие каскады среднего и мелкого дробления, а подрешетного продукта — в спиральный классификатор с целью выделения песков крупностью -5+1 мм и слива крупностью -1 мм, направляемого на сгущение и обогащение.

- замену дробилок среднего дробления КСД-2200Гр на более производительные и эффективные КСД-2200Т-Д;

- замену дробилок мелкого дробления КМД-2200Т1 на более эффективные КМД-2200ТБ-Д;

- замену грохотов ГИТ-51 на более эффективные ГРС-1750-4500;

- замену мельниц МШР-3600-5000 на удлиненные безщепные мельницы МШР-3600-7200, устанавливаемые на существующие фундаменты (рис. 5).

На рис. 6 представлен вариант модернизации техники и технологии рудоподготовки

Технико-эксплуатационные показатели, капитальные вложения и сроки окупаемости, достигаемые при реализации варианта модернизации и технического перевооружения переделов рудоподготовки на ОФ Коршуновского, Учалинского ГОКов и ОАО «Кольская ГМК» приведены в табл. 2.

Анализ результатов технико-экономических расчетов, выполненных применительно к условиям переработки руды на горно-обогатительных предприятиях — ОАО «Коршунровский ГОК», ОАО «Учалинский ГОК» и ОАО «Кольская ГМК», показывает следующие возможности развития мощности и повышения эффективности переработки руд:

- повышение производительности стадий дробления, измельчения и секций обогащения на 18–30 %;

- экономия по наиболее затратным показателям: расхода электроэнергии — на 18–30 %, футеровки — в 1,3–1,35 раза, измельчающих тел — на 19–24 %;

- обеспечение гарантии эффективной переработки и обогащения руд, характеризующихся повышенным (до 14 %) содержанием влаги (при норме не более 4 %), класса -5+0 мм — не менее 20 %, глины — до 10 %;

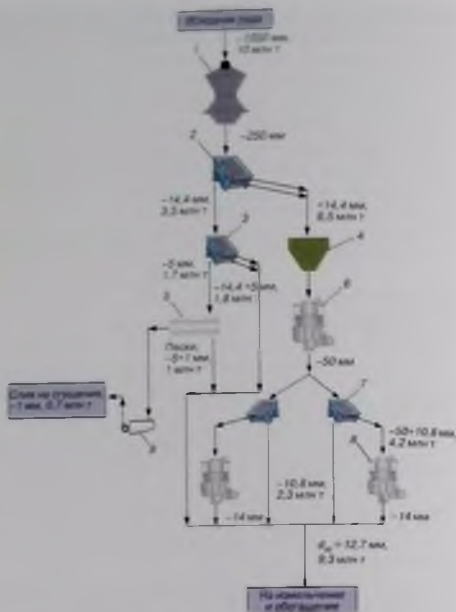


Рис. 6. Вариант модернизации техники и технологии рудоподготовки на ОФ ОАО «Кольская ГМК»: 1 — дробилка ККД-1500×180, 1 ед.; 2 — грохот ГРС-2500-6000, 2 ед.; 3 — грохот ГРС-1750×4500, 2 ед.; 4 — бункер; 5 — классификатор 2КСН-30; 6 — дробилка КСД-2200Т-Д, 2 ед.; 7 — грохот ГРС-1750-4500, 6 ед.; 8 — дробилка КМД-2200ТБ-Д, 4 ед.; 9 — зумпф с насосом

- повышение качества концентрата с учетом более тонкого измельчения и увеличения содержания класса -0,074 мм.

Окупаемость капитальных вложений на модернизацию технологии и техническое перевооружение стадий дробления и измельчения не превышает 1,6 года.

Из рассмотренных двух направлений реализации новой технологии (применение вместо среднего и мелкого дробления самоизмельчения в мельницах типа ММС или МПСИ и отмывки мелочи, глины и шламов при грохочении перед средним дроблением) наиболее эффективным является вариант с полусамозмельчением.

Так, например, применительно к Коршуновскому ГОКу при работе всех десяти действующих секций обогащения возможно увеличение годового объема переработки с 12,7 до 20 млн т.


### Выводы

Разработанная новая технология подготовки руд черных и цветных металлов, характеризующихся повышенным содержанием влаги (до 14%), класса -10 мм — до 30–35 %, глины — до 10 %, позволяет эффективно осуществлять операции дробления, грохочения, измельчения и классификации как при переработке новых мес-



торождений, так и обрабатываемых в настоящее время с достижением максимально возможных объемов переработки и получением концентрата повышенного качества.

*Библиографический список*

1. Зимин А. В., Круппа П. И. Патент № 2169048 «Способ обогащения вязких глинистых и труднотранспортируемых руд с повышенным содержанием мелочи и глины. Государственный реестр изобретений РФ, 2001 г.
2. Круппа П. И., Нестеров П. О. Внедрение модернизированных технологий и разработка перспективных направлений рудоподготовки // Горный журнал. — 2008. — Спецвыпуск.
3. Иванов А. Н. Современные виброгрохоты НПО «РИВС» // Горный журнал. — 2008. — Спецвыпуск. 

Круппа Павел Иванович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

Иванов Александр Николаевич,  
e-mail: rivs@rivs.ru

Скарин Олег Иванович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

**IMPROVEMENT OF THE SCHEMES OF ORE PREPARING FOR OPERATING BENEFICIATION ENTERPRISES**

**Kruppa P. I., Ivanov A. N., Skarin O. I.**

The results of technical-economical calculations for improvement of the technology and modernization of equipment of schemes of ore preparation at the operating mining and concentrating plants, processing ores, characterized by high content of screening (<math>0.5\text{ mm}</math>) — more than 20 %, clay less than 11 % and humidity — less than 10-14 % are presented. However grain size of crushed product for charging mills reduces down to 5(14) mm instead of 28(35) mm, providing productivity raise of grinding shop by 20-30% with simultaneous economy of electric power by 18-30 %, reducing of lining consumption by 1,3 times, grinding bodies by 19-24%. Payback of capitalized expenses compiles 6-18 months.

**Key words:** ores of ferrous and non ferrous metals, humidity, clay presence, crushing, grating, grinding, crushers, screens, mills.

УДК 662.778-913.1

**А. Н. ИВАНОВ, П. И. КРУППА (ЗАО «НПО «РИВС»)**

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СУХОЙ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ НА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ



**А. Н. ИВАНОВ,**  
начальник отдела  
вибротехники  
и рудоподготовки



**П. И. КРУППА,**  
зам. генерального  
директора  
по рудоподготовке,  
канд. техн. наук

*Рассмотрен опыт внедрения сухой магнитной сепарации крупнодробленых железных руд в промышленных и полупромышленных условиях на ряде предприятий с применением оборудования различных производителей. Реализация новой технологии позволит увеличить объем переработки руд, снизить поступление некондиционной руды на обоганительную фабрику, снизить эксплуатационные затраты и себестоимость конечной продукции, из хвостов сухой магнитной сепарации попутно получить щебень для использования в строительной отрасли промышленности.*

**Ключевые слова:** железные руды, крупнодробленая руда, сухая магнитная сепарация, предварительное обогащение.

Несмотря на то, что, согласно существующей практике, разработку месторождений железных руд производят с разделным подъемом из карьеров взорванной горной массы рудных и нерудных тел, в контактных зонах руды и породы происходит значительное перемешивание взорванной горной массы и, как следствие, разубоживание руды. Горную массу с пониженным содержанием магнитной руды складывают в отвалах, а затраты на ее добычу, транспортирование и складирование увеличивают себестоимость кондиционной руды. Кроме того, с разубоживанием горной массой теряется значительное количество руды с кондиционным содержанием магнитного железа. Одновременно в переработку на обоганительные фабрики (ОФ) поступает руда, содержащая вмещающие породы из контактных зон, что повышает объем руды, поступающей на ОФ, ухудшает показатели обогащения и способствует образованию большего количества хвостов.

В сложившейся ситуации с целью снижения негативного влияния этих факторов при проведении добычных работ, как правило, в карьере повышают бортовое содержание магнитного железа, с формированием запасов забалансовых руд (массовая доля магнитного железа — 14–17 %), что ведет к значительным потерям металла при разработке месторождений.

Эти тенденции определяют актуальность применения технологии механизированной магнитной рудоразборки (ММР) горной массы из контактных зон способом

сухой магнитной сепарации (гравитационного разделения горной массы на руду и породу), осуществляемой на борту карьера, с последующим транспортированием на ОФ предварительно обогащенной руды.

В настоящее время имеется опыт внедрения технологии ММР в промышленности и полупромышленных объектах на ряде железорудных предприятий с применением оборудования различных производителей (Научно-технический центр магнитной сепарации «Магнис ЛТД» (Украина), Пекинский центральный научно-исследовательский институт по горному делу и металлургии (ПЦНИИГМ Китай)).

Сепарацию крупнокусковой руды (более 50 мм) до 1990-х годов не осуществляли в связи с отсутствием необходимого оборудования. Магнитные сепараторы для обогащения средне- и мелкодробленной руды (менее 50 мм) не могут быть применены для обогащения крупнокусковой руды ввиду несоответствия магнитных и центробежных сил на барабанах сепараторов. Создание сепараторов нового поколения стало возможным после появления постоянных неодим-железобариевых магнитов, создающих магнитное поле с интенсивностью 2,5 тыс. Гс и выше.

В ООО «НТЦ «Магнис ЛТД» в период 2005–2009 гг. освоено производство комплексов ММР на основе оборудования собственной разработки, применение которых позволяет осуществлять предварительное обогащение

крупнодробленной руды (крупностью до 300–400 мм) с выделением немагнитного продукта, содержащего до 3–4 % магнитного железа.

Для комплексной проверки показателей сухой магнитной сепарации (СМС) при выделении кусков породы как из некондиционной рудной массы, так и из кондиционной руды в НТЦ «Магнис ЛТД» создан стенд специального магнитного сепаратора промышленного типоразмера (рис. 1).

Стендовые испытания сепаратора проведены на пробах крупнокусковых руд Южного, Центрального, Ново-Криворожского и Ингулецкого ГОКов (Украина), Михайловского и Лебединского ГОКов (Россия), ОАО «Карельский окатыш» (Россия) и ряде некоторых месторождений.

Основные результаты стендовых испытаний приведены в табл. 1. Они свидетельствуют об эффективности применения данной технологии. Так, при проведении ММР с применением СМС для руды Ингулецкого ГОКа выход немагнитного продукта и содержание магнитного железа в нем при переработке руд крупностью –350 и –25 мм отличается незначительно, что подтверждает целесообразность применения СМС на стадии крупнодробленной руды.

В настоящее время комплексы ММР с применением СМС крупнодробленной руды производства ООО «НТЦ «Магнис ЛТД» введены в промышленную и



Рис. 1. Фрагменты работы стенда специального магнитного сепаратора в НТЦ «Магнис ЛТД»

Таблица 1. Показатели СМС крупнодробленных магнетитовых руд на стендовом сепараторе в НТЦ «Магнис ЛТД»

Предприятие	Исходная руда		Магнитный продукт		Немагнитный продукт
	Крупность, мм	Содержание Fe <sub>магн.</sub> , %	Выход, %	Содержание Fe <sub>магн.</sub> , %	Содержание Fe <sub>немагн.</sub> , %
ОАО «Михайловский ГОК»	250-0	13,9*	83,7	16,3	2,0
	200-0	19,7	90,4	21,5	2,5
ОАО «Карельский окатыш»	350-0	17,0*	67,7	24,5	1,4
	350-0	14,5*	46,6	28,2	2,5
ОАО «Лебединский ГОК»	350-0	18,4*	54,4	31,0	3,4
ОАО «Южный ГОК»	300-0	16,0*	72,5	20,6	4,1
«Ново-Криворожский ГОК»	350-0	18,7	89,2	20,8	1,8
	350-0	8,0*	35,0	17,0	3,2
ООО «Восток-Руда»	200-0	13,2*	57,5	20,3	3,7

\* Руда некондиционная.



Рис. 2. Комплекс «Магнис» КМР-1,2/2М в ОАО «Михайловский ГОК»



Рис. 3. Комплекс сухой магнитной сепарации «Магнис» КМР-1,8/2КО в ОАО «Карельский окатыш»



Рис. 4. Комплекс «Магнис» на Соколовско-Сарбайском ГОКе

опытно-промышленную эксплуатацию на ряде предприятий железорудной промышленности.

ОАО «Михайловский ГОК». Комплекс предварительной СМС введен в эксплуатацию в 2007 г. Он включает трехстадийное дробление в дробилках ШДП-15х21 (крупное дробление), КСД-1750 (среднее дробление) и КМД-2200 (мелкое дробление), узел СМС

«Магнис» КМР-1,2/2М, узел грохочения (ГИТ-50). Внешний вид комплекса приведен на рис. 2.

На комплексе из руды, содержащей 12–14 %  $Fe_{\text{магн}}$ , после ее дробления до крупности –70 мм выделяется промпродукт (содержание  $Fe_{\text{общ}}$  в зависимости от типа руд повышено на 4,9–9,9%), выход 37–67% и хвосты, содержащие 2,5–5,5 %  $Fe_{\text{магн}}$ .

Промпродукт поступает на дальнейшую переработку на обогатительную фабрику, а хвосты рассеивают на три фракции и используют в качестве строительного щебня.

При СМС руды крупностью –200 мм содержание  $Fe_{\text{магн}}$  в промпродукте повышается с 11,9 до 16,4 % (для неокисленных кварцитов), выход промпродукта составил ~56 %, извлечение  $Fe_{\text{магн}}$  – 82 %. Производительность комплекса – 400–450 т/ч (2,2 млн т в год).

ОАО «Карельский окатыш». Узел предварительной СМС в составе дробильной установки Nordberg NW-140 и комплекса «Магнис» КМР-1,8/2КО введен в опытно-промышленную эксплуатацию в апреле 2009 г. на борту Западного карьера Корпангского месторождения (рис. 3).

На комплексе из руды, содержащей 12,9 %  $Fe_{\text{магн}}$ , после дробления до крупности –350 мм выделяется промпродукт (выход – 56 %, содержание  $Fe_{\text{магн}}$  – 21,6 %). Содержание  $Fe_{\text{магн}}$  в хвостах – 2–4 %. Подача исходной руды в дробильную установку NW-140 осуществляется с помощью фронтального погрузчика с ковшем вместимостью 12 м<sup>3</sup>.

В ходе опробования комплекса было отмечено, что отдельные фракции магнитного продукта существенно отличаются по содержанию  $Fe_{\text{магн}}$ : в крупной фракции (–150+50 мм) содержание  $Fe_{\text{магн}}$  достигает 20–25 %, в мелкой фракции (–2 мм) не превышает 12–15 %. Производительность комплекса – 355–500 т/ч.

Соколовско-Сарбайский ГОК. Узел предварительной СМС введен в промышленную эксплуатацию на Куржункульском карьере Качарского месторождения (Казахстан) в 2008 г. (рис. 4).

На комплексе из руды, содержащей 25,2 %  $Fe_{\text{общ}}$ , выделяется магнитный промпродукт (выход 55 %, содержание  $Fe_{\text{общ}}$  39,2 %) и хвосты, содержащие менее 8 %  $Fe_{\text{общ}}$ .

Отметим, что на обогатительной фабрике Соколовско-Сарбайского ГОКа после I стадии магнитной сепарации содержание железа в хвостах составляет 9,5–10,5 %.

Таблица 2. Техническая характеристика сепараторов СТ-1016 и СТ-1416 для переработки крупнокусковых руд

Параметры	Типоразмер	
	СТ-1016	СТ-1416
Диаметр барабана, мм	1000	1400
Длина барабана, мм	1600	1600
Магнитная индукция на поверхности барабана, Тл	0,18–0,4	0,3–0,5
Крупность питания, мм	100–300	До 400
Производительность, т/ч	150–200	200–350
Масса сепаратора, т	5,2	9,8





Рис. 5. Узел СМС крупнодробленой руды на ОП в Монголии (сепаратор китайского производства)



Рис. 6. Узел СМС мелкодробленой руды на ОП в Монголии (сепаратор китайского производства)

Пекинский центральный научно-исследовательский институт по горному делу и металлургии является комплексным научно-исследовательским центром в области добычи руды, обогащения, металлургии, технологии и разработки оборудования и находится под прямым управлением Центрального правительства КНР. Институт является также ведущим предприятием в области производства магнитных материалов и магнитных сепараторов. В настоящее время институтом разработано, изготовлено и введено в эксплуатацию более 20 типоразмеров магнитных сепараторов различного назначения. Техническая характеристика наиболее крупных сепараторов для СМС, которые применяются на горно-обогатительных предприятиях Китая и ряда других стран, приведена в табл. 2, фотографии узлов СМС представлены на рис. 5 и 6.

Применение сепаратора СТ-1416 в горно-металлургической компании «Ручжун» (Китай) позволило повысить содержание  $Fe_{\text{магн}}$  в руде на 3 %, при этом выход немагнитного продукта составляет 11,5 %, содержание в нем  $Fe_{\text{магн}}$  — приблизительно 11 %. Объем переработки руды на предприятии достигает 4 млн т в год,

экономическая эффективность от внедрения сепараторов — более 750 тыс. долл. США в год.

По данным специалистов КНР на сегодняшний день изготовлено более 10 тыс. ед. такого оборудования.

В настоящее время оборудование для обогащения сильно- и слабомагнитных руд крупностью до 400 мм с использованием магнитных систем различной интенсивности разрабатывает ООО «ЭРГО плюс» (г. Калуга), а также ряд зарубежных фирм — Metso Minerals, SGM Magnetics. Узел СМС производства SGM Magnetics показан на рис. 7. Достоверные сведения о промышленных и стендовых образцах, достигнутых технологических показателях оборудования этих производителей на данном этапе не представлены.

В рамках «Технико-экономического расчета экономической эффективности обогащения бедных железных руд на Рудногорском руднике с применением сухой магнитной сепарации крупнокусковой руды» в ЗАО «НПО «РИВС» выполняется обоснование внедрения данной технологии в ОАО «Коршуновский ГОК». Комбинат совместно с ЗАО «НПО «РИВС» провел исследование руды Рудногорского рудника на стенде ООО «НТЦ «Магнис ЛТД».

Предварительные результаты исследований свидетельствуют о перспективности внедрения СМС крупнокусковой руды на борту карьера Рудногорского рудника. На исследования были отправлены четыре пробы руды. Завершены испытания одной пробы (табл. 3).

Исходная проба по содержанию в ней железа (25,6 %) относится к кондиционной руде, которую обогащают на фабрике по стандартной технологии. В действительности же эта проба руды представляет смесь полноценной руды (55,3 %), содержащей 37,9 % железа, и малорудных продуктов (44,7 %), в которых содержание железа ниже бортового — от 9,3 до 12 %.



Рис. 7. Узел СМС производства SGM Magnetics

Таблица 3. Итоговые результаты испытаний пробы руды Рудногорского рудника

Наименование продукта	Выход, %	Содержание $Fe_{\text{сум}}$ , %	Извлечение $Fe_{\text{сум}}$ , %
Магнитный	55,3	37,9	81,8
Промпродукт	19,3	12,0	9,0
Немагнитный	25,4	9,3	9,2
Исходная руда	100,0	25,6	100,0

Осуществление на борту карьера сухой магнитной сепарации всего объема бедной руды (по качеству соответствующей пробе) дает возможность:

- сократить в 1,6 раза затраты на перевозку рудной массы от карьера до фабрики;
- в 1,6 раза снизить затраты на ее измельчение, относимые на 1 т концентрата;
- в 2,3 раза уменьшить количество шламов, хвостов обогащения, сбрасываемых в хвостохранилище.

Аналогичные результаты получены при испытаниях и остальных проб.

**Выводы и рекомендации**

1. Анализ опыта применения сухой магнитной сепарации крупнодробленной руды на действующих предприятиях и результаты стендовых испытаний руд различных месторождений, проведенные на стенде ООО «НТЦ «Магнис ЛТД», свидетельствуют о перспективности внедрения данной технологии при переработке железных руд.

2. Реализация новой технологии MMP дает возможность:

- вовлечь в переработку некондиционные (забалансовые) руды;
- снизить количество некондиционной руды, поступающей на обогатительную фабрику, и, соответственно, уменьшить затраты на измельчение и обогащение сырья, а также объем хвостов обогащения, поступающих в хвостохранилище;

- полностью из хвостов сухой магнитной сепарации получить фракции щебня для использования в строительной промышленности [2].

Иванов Александр Николаевич,  
e-mail: rivs@rivs.ru  
Крупня Павел Иванович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

**PERSPECTIVES OF IMPLEMENTATION OF DRY MAGNETIC SEPARATION AT BENEFICIATION PLANT OF FERROUS METALLURGY**

Ivanov A. N., Krupnya P. I.

Experience of implementation of dry magnetic separation of coarsed-crushed iron ores in industrial and semi-industrial conditions has been considered at several enterprises using equipment fabricated by different producers.

Realization of the new technology will allow to increase volume of ore processing; reduce arrival of off-grade ore to beneficiation plant; reduce operating expenses and cost of final products; obtain accompanying gravel for usage in building industry from tailings of dry magnetic separation.

**Key words:** iron ores, coarsed-crushed ore, dry magnetic separation, preliminary beneficiation.



**Издательский дом «РУДА и МЕТАЛЛЫ»**

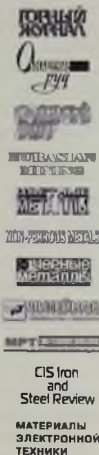
Издательский дом «Руда и Металлы» выпускает научно-технические и производственные журналы: «Горный журнал», «Обогащение руд», «Цветные металлы», «Черные металлы», «Известия вузов. Материалы электронной техники» и др. (11 журналов), которые являются ведущими российскими изданиями в своих областях.

- Публикации и постоянные рубрики, посвященные ведущим отечественным и зарубежным предприятиям, институтам и фирмам
- Специальные выпуски ряда основных европейских горных и металлургических журналов на русском языке ("MPT Metallurgical Plant and Technology International", "CP+T, Casting Plant and Technology" и др.) и их бесплатное распространение на территории России и других стран СНГ
- Английские версии журналов «Цветные металлы» — "Non-ferrous Metals", «Горный журнал» — "Eurasian Mining", «Черные металлы» — "CIS Iron and Steel Review"
- Участие в крупнейших отечественных и зарубежных выставках и конференциях; информационная поддержка и помощь в организации участия для отечественных и зарубежных компаний
- Научно-техническая, учебная, справочная и научно-популярная литература
- Весь спектр услуг в области предполиграфической подготовки и печати материалов

Россия, 119049, Москва, а/я 71  
Издательский дом «Руда и Металлы»

www.rudmet.ru  
rim@rudmet.ru

Тел./факс: +7 (495) 638-45-18  
638-44-23



УДК 622.7.622.349.1

 К. С. САНАКУЛОВ (ГП «Навоийский ГМК») /  
 М. А. АРУСТАМЯН, Е. Н. ШУМСКАЯ (СП ЗАО «ИВС» (ЗАО «НПО «РИВС»))

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ БОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД НА АНГРЕНСКОЙ БОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ



**К. С. САНАКУЛОВ,**  
генеральный директор,  
д-р техн. наук



**М. А. АРУСТАМЯН,**  
исполнительный  
директор,  
канд. техн. наук



**Е. Н. ШУМСКАЯ,**  
ведущий научный  
сотрудник,  
канд. техн. наук

*Представлены результаты исследований, направленных на совершенствование технологии обогащения золотосодержащих руд на Ангренской обогатительной фабрике. Предложены несколько вариантов новой технологии с применением современного оборудования и эффективных реагентов. Намечено проведение промышленных испытаний.*

**Ключевые слова:** Ангренская обогатительная фабрика, золотосодержащие руды, модернизация, реконструкция, флокулянты, флотация.

Ангренская золотоизвлекательная обогатительная фабрика (АЗИФ) является одним из основных предприятий по переработке золото- и серебросодержащих руд месторождений Кочбулак и Кызыл-Алма, представленных в основном силикатами и алюмосиликатами с незначительной примесью сульфидов. Золото и серебро встречаются в виде самородных элементов, электрума, пираргирита и арсентита.

Ангренская ЗИФ первоначальной мощностью 300 тыс. т руды в год

была построена по проекту института Казмеханобр в 1973 г. по гравитационно-флотационно-гидрометаллургической схеме, разработанной институтами СредазНИПРОцветмет и Казмеханобр для переработки руд месторождений Каульды и Кочбулак. По этой технологии фабрика проработала до 1993 г.

В 1992–1993 гг. в целях увеличения мощности ЗИФ, исключения из схемы процесса цианирования хвостов флотации и, как следствие, улучшения экологической обстановки в районе СредазНИПРО-

цветмет выполнил проекты реконструкции узла рудоподготовки, отделения измельчения и гравитационного обогащения (главного корпуса), а НПО «Геотехнолог» — проект нового отделения флотации.

Промышленные испытания, проведенные в 2003 г., подтвердили возможность применения флотационного обогащения товарных руд на Ангренской ЗИФ, которая принята к реализации с 2004 г. в качестве базовой.

Начиная с 2003 г. специалистами СП ЗАО «ИВС» (ЗАО «НПО «РИВС») выполнен ряд работ по совершенствованию технологии переработки золотосодержащих руд:

- модернизировано флотационное отделение;
- изучен вещественный состав проб руд, отобранных из главных шахт месторождений Ангренского рудоуправления;
- проведены лабораторные исследования с разработкой технологической схемы и реагентного режима их обогащения;
- на опытной фабрике ОАО «Алмалыкский ГМК» проведены полупромышленные испытания рекомендованной технологии;
- по результатам испытаний составлен технологический регламент «Флотационное обогащение руды на Ангренской ЗИФ» в целях повышения извлечения драгметаллов.

### Модернизация флотомашин ФМП-16 на Ангренской ЗИФ

В ноябре 2003 г. при участии СП ЗАО «ИВС» выполнена частичная реконструкция флотационного отделения Ангренской ЗИФ. Модернизации подверглись 16 камер флотомашин ФМП-16 с





УДК 622.7:622.349.1

 К. С. САНАКУЛОВ (ГП «Навоийский ГМК») /  
 М. А. АРУСТАМЯН, Е. Н. ШУМСКАЯ (СП ЗАО «ИВС» (ЗАО «НПО «РИВС»))

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД НА АНГРЕНСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ



**К. С. САНАКУЛОВ,**  
генеральный директор,  
д-р техн. наук



**М. А. АРУСТАМЯН,**  
исполнительный  
директор,  
канд. техн. наук



**Е. Н. ШУМСКАЯ,**  
ведущий научный  
сотрудник,  
канд. техн. наук

*Представлены результаты исследований, направленных на совершенствование технологии обогащения золотосодержащих руд на Ангренской обогатительной фабрике. Предложены несколько вариантов новой технологии с применением современного оборудования и эффективных реагентов. Намечено проведение промышленных испытаний.*

**Ключевые слова:** Ангренская обогатительная фабрика, золотосодержащие руды, модернизация, реконструкция, флокулянты, флотация.

Ангренская золотоизвлекательная обогатительная фабрика (АЗИФ) является одним из основных предприятий по переработке золото- и серебросодержащих руд месторождений Кочбулак и Кызыл-Алма, представленных в основном силикатами и алюмосиликатами с незначительной примесью сульфидов. Золото и серебро встречаются в виде самородных элементов, электрума, пираргирита и арсентита.

Ангренская ЗИФ первоначальной мощностью 300 тыс. т руды в год

была построена по проекту института Казмеханобр в 1973 г. по гравитационно-флотационно-гидрометаллургической схеме, разработанной институтами СредазНИПРОцветмет и Казмеханобр для переработки руд месторождений Каульды и Кочбулак. По этой технологии фабрика проработала до 1993 г.

В 1992–1993 гг. в целях увеличения мощности ЗИФ, исключения из схемы процесса цианирования хвостов флотации и, как следствие, улучшения экологической обстановки в районе СредазНИП-

роцветмет выполнил проекты реконструкции узла рудоподготовки, отделения измельчения и гравитационного обогащения (главного корпуса), а НПО «Геотехнолог» — проект нового отделения флотации.

Промышленные испытания, проведенные в 2003 г., подтвердили возможность применения флотационного обогащения товарных руд на Ангренской ЗИФ, которая принята к реализации с 2004 г. в качестве базовой.

Начиная с 2003 г. специалистами СП ЗАО «ИВС» (ЗАО «НПО «РИВС») выполнен ряд работ по совершенствованию технологии переработки золотосодержащих руд:

- модернизировано флотационное отделение;
- изучен вещественный состав проб руд, отобранных из главных шахт месторождений Ангренского рудоуправления;
- проведены лабораторные исследования с разработкой технологической схемы и реагентного режима их обогащения;
- на опытной фабрике ОАО «Алмалыкский ГМК» проведены полупромышленные испытания рекомендованной технологии;
- по результатам испытаний составлен технологический регламент «Флотационное обогащение руды на Ангренской ЗИФ» в целях повышения извлечения драгметаллов.

### Модернизация флотомашин ФМП-16 на Ангренской ЗИФ

В ноябре 2003 г. при участии СП ЗАО «ИВС» выполнена частичная реконструкция флотационного отделения Ангренской ЗИФ. Модернизации подверглись 16 камер флотомашин ФМП-16 с



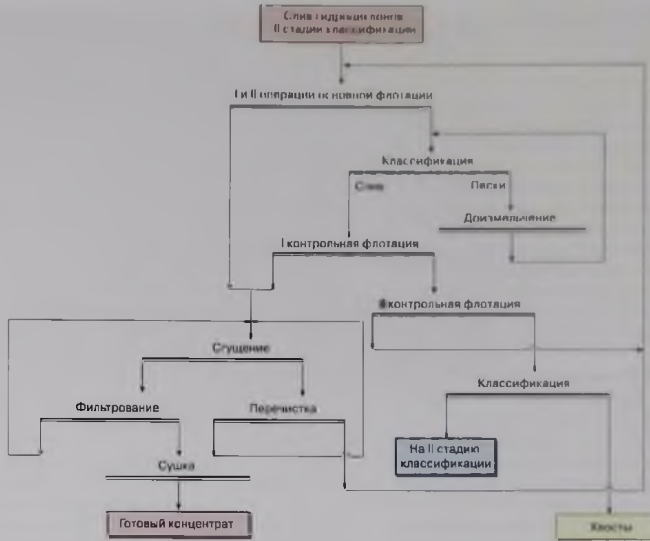


Рис. 1. Технологическая схема флотации золотосодержащих руд на Ангренской ЗИФ

установкой аэрационных комплексов РИФ 7, четырех карманов конструкции РИФ, оснащенных системами автоматического поддержания уровня пульпы, регулирования расхода воздуха АССУП-РВ и дозирования флотационных реагентов УДР-001-006. Для обеспечения систем АС-СУП-РВ и УДР-001-006 сжатым воздухом был смонтирован компрессор фирмы Atlas Copco.

Реконструированное отделение Ангренской ЗИФ введено в промышленную эксплуатацию в ноябре 2003 г. Установлены оптимальные параметры работы модернизированных флотомашин; проведено обучение обслуживающего персонала; подготовлены технологические инструкции по правилам эксплуатации модернизированных флотомашин и систем АССУП-РВ.

В ходе промышленной эксплуатации установлено, что модернизированные флотомшины ФПМ-16 обеспечивают хорошее перемешивание пульпы, тонкое диспергирование воздуха, равномерное распределение пенного слоя по поверхности камер, непрерывный самотечный пеносъем. Флотомшины работают эффективно с достижением технологических показателей не ниже плановых при сокращении затрат на электроэнергию. Системы АССУП-РВ и УДР-001-006 обеспечивают поддержание заданного расхода воздуха, флотационных реагентов и уровня пульпы.



Рис. 2. Включение самородного золота в кварце. Отраженный свет

### Разработка технологии обогащения золотосодержащих руд

В настоящее время обогащение золотосодержащей руды на Ангренской ЗИФ проводится флотационным методом в две стадии (рис. 1). Первая стадия включает I и II основные операции при крупности измельченной руды 60 % класса –74 мкм, вторая – I и II контрольные операции при крупности 75 % класса –74 мкм. Концентрат II контрольной флотации поступает в голову основного процесса. Пенные продукты двух основных и I контрольной операций после сушения и сушки являются готовым концентратом, камерный продукт II контрольной флотации – отвальными хвостами.

На случай нарушения процесса сушения в схеме предусмотрена перечистка слива сушения готового флотоконцентрата.

В целях повышения качества золотосодержащего концентрата, получаемого на Ангренской ЗИФ, и улучшения показателей его сушения сотрудниками СП ЗАО «ИВС» в 2006–2007 гг. была разработана стадияль-

Таблица 1. Содержание основных компонентов в продуктах обогащения

Наименование продукта	Содержание, %				
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	Au (г/т)	Ag (г/т)
Питание флотации	66,2	10,8	2,3	3,5	55,3
Суммарный концентрат	50,4	7,16	17,2	22,6	315
Хвосты	74,9	10,3	0,21	0,3	3,5

на сдвиги флотационной переработки руд Ангренского района, выполненная в полупромышленных условиях.

Стадии лабораторных и полупромышленных испытаний проводены на базе опытной фабрики Алмалыкского комбината специалистами СП ЗАО -ИВС-

Изучение вещественного состава представительных проб руд тепушей и перспективной добычи, а также продуктов обогащения является ответственным этапом исследований. Поэтому отбор проб для исследований сотрудники СП ЗАО -ИВС- проводили совместно со специалистами ОАО -Алмалыкский ГКМ-

Химический состав питания флотации и конечных продуктов обогащения представлен в табл. 1.

Коэффициент корреляции содержания золота в продуктах с содержаниями серы, меди и свинца составляет 0,9, а с содержанием цинка — 0,8, что свидетельствует о связи сульфидов с золотом.

Рентгенофазовый анализ проб руд месторождений Кочбулак и Кызыл-Алма показал наличие среди породообразующих минералов, помимо кварца (~ 60–65 %), карбонатов (~ 3–5 %) и полевых шпатов (~ 15–20 %), также серицита (~ 5 %), коаллинита (~ 1–3 %) и иллита (~ 1 %), которые усложняют процессы сгущения и фильтрования. Основная масса самородного золота и серебра приурочена к кварцу в виде пылевидных включений (менее 0,05 мм) с преобладанием частиц размером 15–20 мкм (рис. 2), незначительная часть — к пириту и халькопириту (до 12 %).

Основными минералами в сливах сгустителей, получаемых по существующей технологии, являются кварц (40 %) и гидрослюды (около 10 %). Содержание иллита по сравнению с исходной рудой повышается в 10 раз.

На стадии лабораторных исследований, проведенных в сентябре 2006 г. для золотосодержащих руд Ангренского района, была разработана принципиальная технологическая схема их обогащения: стадийная флотация с перечистой промпродуктов в отдельном цикле. Кроме того, уточнен реагентный режим и определена целесообразность использования флокулянтов нового поколения.

Рекомендуемая технологическая схема представлена на рис. 3. Золотая «головка», пенные продукты операций перечистой и промпродуктовой флотации являются объединенным концентратом, а камерные продукты промпродуктовой и контрольной операций — отвальными хвостами.

Использование сочетания соды и жидкого стекла в целях петтизации пульпы перед флотацией и медного купороса для активации сульфидов дало возможность достигнуть высоких технологических показателей без перечистки промпродуктов.

Установлено, что при подаче соды и жидкого стекла в измельчение содержание кремнезема и глинозема,

Таблица 2. Результаты полупромышленных испытаний на опытной фабрике ОАО -Алмалыкский ГКМ-

Исходный состав продукта	Выход, %	Извлечение, %		Содержание, %		Извлечение, %	
		Au	Ag	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Фабричная технология							
Общий концентрат	18,3	94,5	76,5	58,4	11,1	15,4	20,2
Хвосты	81,7	5,5	23,5	72,1	9,8	84,6	79,8
Исходная руда	100	100	100	69,6	10	100	100
Рекоменд. емкая технология							
Общий концентрат	8,7	92,5	84,7	42	11	8	13,8
Хвосты	91,3	7,5	15,3	73,3	10,6	92	86,2
Исходная руда	100	100	100	69,1	10,7	100	100
Фабричные схемы рекомендуемый реагентный режим							
Общий концентрат	19,8	97,1	73,6	52,5	8,05	15,1	20
Хвосты	80,2	2,9	26,4	73,1	7,96	84,9	80
Исходная руда	100	100	100	69	7,98	100	100

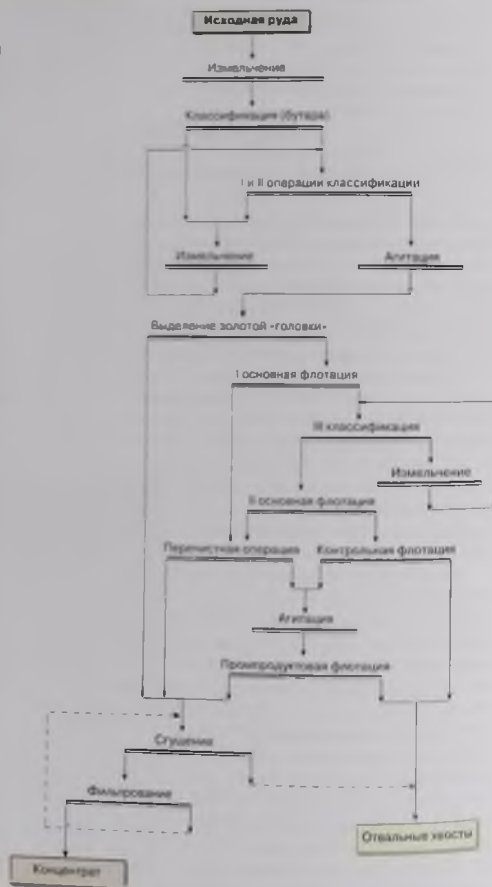


Рис. 3. Рекомендуемая схема переработки золотосодержащих руд на Ангренской ЗИФ



Таблица 3. Расчетные показатели новой технологии

Наименование продукта	Выход, %	Извлечение, %	
		Аu	Аg
Объединенный концентрат	6,2	96,4	93,6
Хвосты	93,8	3,6	6,4
Исходная руда	100	100	100

снижающих эффективности сгущения концентратов, значительно уменьшается.

Полупромышленные испытания разработанной технологии при участии представителей СП ЗАО «ИВС» и ОАО «Алмалыкский ГМК» проводили по трем вариантам схемы: существующей и рекомендуемой, а также по существующей фабричной схеме, но при использовании рекомендуемого реагентного режима (табл. 2).

По рекомендуемой технологии выход золотосодержащего концентрата по сравнению с фабричной уменьшился более чем в 2 раза за счет снижения содержания в нем оксида кремния (с 58,4 до 42 %). Содержание золота и серебра в общем концентрате возросло на 8,7 и 155,4 г/т соответственно при снижении извлечения золота на 2 % и увеличении извлечения серебра на 8,2 %.

По рекомендуемому реагентному режиму и существующей схеме по сравнению с фабричной технологией содержание золота и серебра повысилось на 4,2 и 19,6 г/т соответственно при увеличении извлечения золота на 2,6 % и снижении извлечения серебра на 2,9 %. Содержание оксидов кремния и алюминия в суммарном концентрате при этом снизилось с 58,4 до 52,5 % и с 11,1 до 8,05 % соответственно.

На основании результатов полупромышленных испытаний был разработан технологический регламент флотационного обогащения золотосодержащей руды на Ангренской ЗИФ производительностью 750 тыс. т руды в год. Расчетные показатели представлены в табл. 3.

Установленные на Ангренской ЗИФ флотомашин Усольского завода ФПМ-16 и ФПМ-6,3 в настоящее время физически изношены и морально устарели и в ближайшей перспективе требуют замены.

Как свидетельствует опыт работы многих реконструируемых флотационных фабрик, применение пневмомеханических флотационных машин РИФ является наиболее эффективным способом модернизации действующих производств.

Согласно расчетам, для переработки 750 тыс. т руды в год по предлагаемой технологии потребуется установить два агитационных чана РИФ 15, 18 камер флотомашин РИФ 16 и 6 камер флотомашин РИФ 8,5.

В целях интенсификации процессов сгущения и фильтрации одновременно с лабораторными и полу-

промышленными исследованиями проводится поиск наиболее эффективного флокулянта, поскольку при использовании полиакриламида (ПАА) потери концентрата со сливом сгустителя достигают 5–8 %. Оптимальный расход ПАА составляет до 40 г/т руды при условии, что расход жидкого стекла в головке технологической схемы не более 800 г/т.

В настоящее время в зарубежной практике в процессах сгущения используют высокомолекулярные органические полимеры (флокулянты) нового поколения.

В связи с вышеизложенным, в операции сгущения рекомендован как наиболее эффективный флокулянт Superfloc (расход в пределах 5–10 г/т).

В ходе испытаний на опытной обогащательной фабрике ОАО «Алмалыкский ГМК» с использованием флокулянта Superfloc потери твердого в сливах составили менее 0,01 %.

По результатам исследований предложены следующие варианты реализации технических решений:

- проведение промышленных испытаний рекомендуемого реагентного режима на фабричной схеме и на усовершенствованной технологической схеме с применением существующего оборудования при текущем объеме переработки;
- реконструкция существующего флотационного парка для обеспечения планируемой производительности фабрики (750 тыс. т руды в год) путем установки флотационного и агитационного оборудования типа РИФ;
- использование флокулянта Superfloc [4].

Санакулов Кувандык Санакулович,  
e-mail info@ngmtk.uz  
Арустамян Михаил Армаисович,  
e-mail: rns@rns.ru  
Шумская Елена Николаевна,  
тел. (812) 321-57-05

#### PERFECTION OF TECHNICS AND TECHNOLOGY OF ORE PREPARATION OF GOLD-CONTAINING ORES AT ANGRENSKAYA CONCENTRATING FACTORY

K. S. Sanakulov, M. A. Arustamyan, E. N. Shumskaya  
Results of researches directed on perfection of technology of preparation of gold-containing ores at Angrenskaya concentrating factory are presented. Some variants of new technology with application of the modern equipment and effective reagents are offered. Carrying out of industrial tests is planned.

**Key words:** Angrenskaya concentrating factory, gold containing ores, modernization, reconstruction, flocculants, flotation.

ISSN 0017-2278 «ОАО «АГМК»

А. К. ФАРМАНОВ (ОАО «Алмалыкский ГКМ»)

А. В. ЗИМИН (ЗАО «НПО «РИВС»)

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕДНОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ ОАО «АЛМАЛЫКСКИЙ ГКМ»



А. К. ФАРМАНОВ,  
генеральный директор,  
канд. техн. наук



А. В. ЗИМИН,  
генеральный директор,  
канд. техн. наук

В производственной биографии многих крупнейших горно-обогатительных предприятий мира, в которых безусловно выделяется и медная обогатительная фабрика (МОФ) Алмалыкского горно-металлургического комбината (ОАО «АГМК»), известны события революционного значения, связанные с применением новых общемировых достижений технологии, позволяющих перешагнуть на качественно новый уровень работы.

За годы существования МОФ АГМК выполнен значительный объем научно-исследовательских работ по совершенствованию технологии обогащения медно-молибденовых руд, в проведении которых участвовали специалисты и ученые ведущих институтов обогатительного профиля.

В начале 2000-х годов в работу включились и специалисты СП ЗАО «ИВС», входящего в состав ЗАО «НПО «РИВС» и имеющего большой опыт в разработке технологий обогащения медно-молибденовых руд на предприятиях ЗАО «Зангезурский ММК» (Армения) и МР КОО «Предприятие Эрдэнэт» (Монголия).

На основании выполненных технологических исследований и проектных работ ОАО «АГМК» приняло решение о масштабной реконструкции МОФ.

В ходе реконструкции МОФ АГМК предполагалось решить следующие проблемы:

- повысить технологические показатели обогащения медно-молибденовых руд;
- поддержать и нарастить выпуск металлов в концентраты, учитывая неуклонное снижение их содержания в добываемых рудах;
- устранить сложность ведения работ в осенний и весенний периоды, обусловленную неудовлетворительной проходимость рудного потока по дробильному тракту.

Представлены основные технические решения по реконструкции медной обогатительной фабрики ОАО «Алмалыкский ГКМ» и этапы ее выполнения. В ходе реконструкции предусматривается существенно изменить технологию рудоподготовки, заменить изношенное и основательное оборудование в цикле флотации.

**Ключевые слова:** медно-молибденовые руды, флотация, реконструкция, автоматизация, моносекция, автоматизированные системы управления, разделение руды, балансовые руды.

С учетом значимости задач и готовности предприятия к их решению были намечены следующие этапы реконструкции.

1 Реконструкция флотационного отделения с заменой существующих VI–IX флотационных секций двумя моносекциями производительностью 7–8 млн т



Рис. 1. VI–IX секции МОФ после реконструкции (флотомашини РИФ 45)

Технологические показатели работы МОФ в период пусконаладочных работ (2006 г.) и промышленной эксплуатации (2007 г.)

Показатель	2006 г.		2007 г.	
	I участок	II участок*	I участок	II участок*
Содержание Си в руде, %	0,404	0,401	0,391	0,389
Содержание Си в концентрате, %	14,97	15,67	14,46	16,97
Извлечение Си в концентрат, %	77,93	77,97	76,67	77,22

\* Реконструируемые VI–IX секции.



Рис. 2. Флотационная машина РИФ 100 в цикле дозвращения цветных и благородных металлов из отвальных хвостов

руды в год, с установкой большеобъемных флотомашин РИФ 45 вместо флотомашин ФПМ-12,5, контактных чанов РИФ 65, автоматизированных гидроциклонных установок и автоматизированного комплекса дозировки флотационных реагентов УДР-РИФ.

2. Реконструкция X–XII секций с доведением производительной мощности флотационного отделения до 30 млн т руды в год.

3. Реконструкция отделения рудоподготовки с установкой мельниц полусамоизмельчения большого объема, обеспечивающих возможность измельчения руды до крупности 65 % класса –0,074 мм, проходимость рудного тракта и дальнейшее наращивание производительной мощности по переработке руды.

Для реализации *первого этапа* реконструкции СП ЗАО «ИВС» на протяжении ряда лет осуществляло разработку и подбор оптимальных конструкций флотационных машин для условий МОФ. Так, в ходе проведения сравнительных промышленных испытаний в 2002 г. на двух параллельно работающих нитках I моносекции МОФ подтверждена более высокая эффективность работы модернизированных флотомашин ФПМ-16, укомплектованных азроторами РИФ 7 и системами стабилизации уровня пульпы (АССУП-РИФ). При этом достигнут прирост извлечения меди в коллективной концентрат на 1,32 % без снижения его качества.

Для реализации проекта реконструкции VI–IX секций главного корпуса МОФ было выполнено технико-экономическое сравнение флотомашин фирм-производителей: Outokumpu, Wemco, Metso Minerals, СП ЗАО «ИВС». В результате конкурсного отбора было отдано предпочтение флотомашинам РИФ с камерами объемом не более 50 м<sup>3</sup>.

В ходе реконструкции VI–IX секций МОФ АГМК 198 камер флотомашин

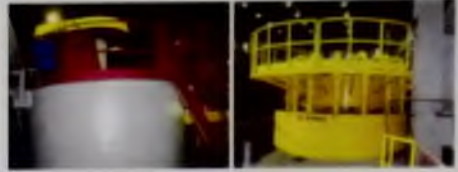


Рис. 3. Контактный чан КЧ-65 и гидроциклонная установка РИНС

ФПМ-12,5 и 128 камер флотомашин ФПМ-6,3 заменены на 48 камер флотомашин РИФ 45 и 16 камер флотомашин РИФ 25, укомплектованных системами стабилизации уровня пульпы и расхода воздуха АССУП-РВ РИФ, с компоновкой их на две моносекции.

Без снижения объемов производства были выполнены следующие работы:

- полностью заменено и введено в промышленную эксплуатацию основное и вспомогательное флотационное оборудование на VI–IX секциях (рис. 1);
- модернизирован узел дозировки реагентов с установкой современного, полностью автоматизированного дозирующего комплекса УДР-РИФ;
- осуществлена программно-аппаратная наладка вспомогательного технологического оборудования (рН-метрия, гранулометры, расходомеры, пробоотбор, низовой КИПиА), стыковка систем АССУП-РВ, УДР-РИФ и системы управления нагнетателями САУК-Н с программно-техническим комплексом АСУТП фабрики;
- произведена технологическая наладка VI–IX секций с получением гарантированных технологических показателей.

Сравнение посекционных технологических показателей работы главного корпуса позволяет сделать следующие выводы в пользу новых секций:

- достигнут прирост производительности VI–IX секций при более высоких технологических показателях (см. таблицу);
- флотационные машины и системы автоматического управления аппаратами и технологическим процессом работают устойчиво и надежно, подтверждена правильность выбора основного оборудования и средств АСУТП;

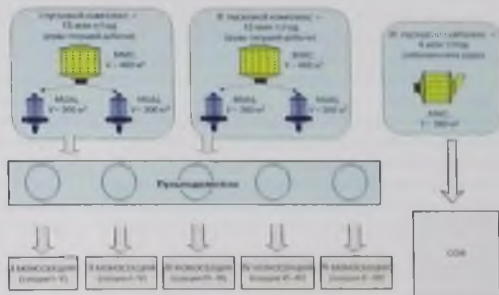


Рис. 4. Принципиальная схема развития производительной мощности МОФ до 30 млн т и более в год



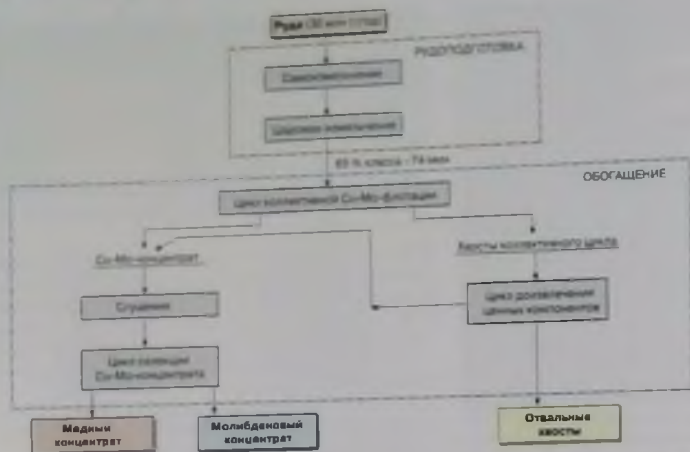


Рис. 5. Перспективная технологическая схема переработки медно-молибденовых руд на МОФ

■ снижен удельный расход электроэнергии, улучшились условия труда, значительно вырос межремонтный ресурс оборудования

В 2008 г. в технологическую схему VI–IX секций была включена операция доизвлечения меди и благородных металлов из песковой фракции отвалных хвостов, реализованная на базе флотомшины РИФ 100 (рис. 2).

Включение этой операции позволило дополнительно извлечь из отвалных хвостов около 38 % меди (от операции), а также доизвлечь благородные металлы в концентрат, качество которого позволяет направлять его в бункер готового медного концентрата.

Особенностью реконструкции VI–IX секций являлось выполнение всех работ под единым управлением СП ЗАО «ИВС» по схеме «под ключ». Обеспечены своевременное изготовление, поставка, монтаж нового оборудования, пусконаладочные работы и технологическое сопровождение процесса, что существенно сократило сроки работ по реконструкции фабрики.

Системы и средства контроля и автоматического регулирования параметров флотации интегрированы с существующей на предприятии АСУТП. Проектом реализовано применение систем управления технологическим оборудованием, поставляемых комплектно, таких, как:

- АССУП-РВ — система, поставляемая комплектно с флотомашинами и обеспечивающая автоматическое регулирование уровня пульпы и расхода воздуха;
- автоматизированная система управления процессом классификации в гидроциклонных установках;
- УДР-РИФ — система автоматической дозировки флотационных реагентов;
- измерение расхода пульпы и ее плотности в питании флотации;
- измерение и поддержание pH пульпы.

С целью улучшения granulометрического состава измельченной руды предусмотрено оснащение всех секций автоматизированными гидроциклонными установками (рис. 3).

На втором этапе реконструкции намечено обновление парка флотационных машин на X–XII секциях с обеспечением производительности 15 млн т руды в год текущей добычи и достижением производственной мощности обогатительной фабрики по руде более 30 млн т в год.

На сегодняшний день завершены проектные работы, начато

изготовление основного технологического оборудования и средств АСУТП для X–XII секций. Окончание работ по реконструкции и выводу секций на проектные показатели намечено на 2010 г.

**Третий этап** — реконструкция отделения рудоподготовки. Выполнено проектное ТЭО реконструкции отделения дробления и измельчения МОФ. Отдельный корпус рудоподготовки планируется разместить рядом с производственными сооружениями фабрики. Срок реализации проекта — 2013 г.

Принципиальная схема развития мощности медной обогатительной фабрики представлена на рис. 4.

Наряду с этим выполняются работы по вовлечению в переработку забалансовых руд месторождения Кальмакыр. Разработана технология переработки забалансовых руд на свинцовой обогатительной фабрике (СОФ) и предварительное технико-экономическое обоснование. Реализация проекта запланирована на 2013–2015 гг.

Одновременно с выполнением работ по реконструкции планируется проведение дополнительных технологических исследований с учетом опыта внедрения новых технологий обогащения медно-молибденовых руд Каджаранского месторождения (Армения) и месторождения Эрдэнэтийн-Овоо (Монголия), где отработаны принципы совершенствования реагентных режимов и технологических схем обогащения в коллективном цикле и в операциях медно-молибденовой селекции. Можно с уверенностью ожидать достижения более высоких технологических показателей в работе фабрики: повышение извлечения меди на 4–5 %, молибдена — на 5–6 % в конечные товарные концентраты.

Перспективная технологическая схема переработки медно-молибденовых руд представлена на рис. 5.

Таким образом, в результате последовательного осуществления технических решений по реконструкции МОФ создаются реальные перспективы увеличе-

ния объема рудных потоков до 30 млн т и более руды в год, дополнительного вовлечения в переработку до 4 млн т забалансовых руд. Это позволит в условиях снижения содержания меди и молибдена в добываемых рудах сохранить объемы выпуска товарной продукции за счет повышения технологических показателей обогащения. □

Фарманов Александр Касымович,  
e-mail: info@agmk.uz  
Зимин Алексей Владимирович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

#### THE MAIN ENGINEERING SOLUTION OF RECONSTRUCTION OF COPPER CONCENTRATING PLANT OF «ALMALYK MMC» JSC

A. K. Farmanov, A. V. Zimin

The main engineering solution of reconstruction of copper concentrating plant of «Almalyk MMC» JSC and phases of its programme are presented. Reconstruction provides essential modifications of technology of ore dressing, plant replacement of major and service equipment and in flotation cycle.

**Key words:** copper molybdenum ores, flotation, reconstruction, semiautogenous grinding, the monosections, automated control systems, reactant mode, out of balance ores.

УДК 622.7 «ОАО «АГМК»

С. И. ДАБИЖА (ОАО «Алмалыкский ГМК»)

Е. Н. ШУМСКАЯ, А. В. МИХАЙЛОВА (СП ЗАО «ИВС» (ЗАО «НПО «РИВС»)

## ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ ЗАБАЛАНСОВЫХ РУД РУДНИКА «КАЛЬМАКЫР»



С. И. ДАБИЖА,  
главный инженер



Е. Н. ШУМСКАЯ,  
ведущий научный  
сотрудник,  
канд. техн. наук



А. В. МИХАЙЛОВА,  
инженер-технолог

Приведены результаты разработки технологии обогащения заскладированных забалансовых руд месторождения Кальмакыр. По рекомендуемой технологии в лабораторных условиях получен коллективный *Си-Мо*-концентрат. Намечено проведение полупромышленных испытаний.

**Ключевые слова:** месторождение Кальмакыр, забалансовые руды, технология обогащения, коллективный концентрат.

В связи с тенденцией снижения содержания ценных компонентов в руде карьера «Кальмакыр» и, как следствие, уменьшения выпуска металлов на Алмалыкском ГМК предусматривается вовлечение в переработку дополнительного сырья — забалансовых медно-молибденовых руд, ранее заскладированных в отвалы А-7 и А-8, характеристика которых приведена в табл. 1.

Переработка забалансового сырья позволила бы увеличить выпуск цветных и благородных металлов,

повысить уровень загрузки имеющихся производственных мощностей медеплавильного завода ОАО «Алмалыкский ГМК», который в настоящее время загружен на 81 %, а также повысить уровень занятости населения за счет создания новых рабочих мест.

Отвалы забалансовых руд находятся на расстоянии 4,5 км от действующего карьера «Кальмакыр» (непосредственно примыкая к отвалам пород текущей вскрыши) и в 600 м от действующей свинцовой обогатительной фабрики (СОФ), перерабатывающей в настоящее время медьсодержащее сырье.

Отвалы представлены различными горными породами с вкраплениями сульфидов ценных компонентов. Они имеют высокий коэффициент фильтрации и водопроницаемости. В подошве отвалов наблюдается высокая влажность за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Опробование отвалов А-7 и А-8 было проведено по трем скважинам при бурении на глубину 75 м. Пробы отбирали в интервале 1 м по высоте. Опробование проводили с полей, содержащих 0,2–0,29 % меди.

Физические свойства, минеральный и химический состав забалансовых руд, пролежавших в отвалах более 30 лет и подвергшихся воздействию внешних факторов (осадки, колебания температуры, выветри-

Таблица 1. Характеристика отвалов А-7 и А-8

Показатели	Отвал А-7	Отвал А-8
Запасы руды, млн т	44,6	29,9
Содержание металлов, %		
Cu	102,3	69
Au (т)	19,6	12
Ag (т)	80,3	51,9
Mo	0,0046	0,0039
S	1,28	1,12
Запасы металлов, тыс. т		
Cu	102,3	69
Au (т)	19,6	12
Ag (т)	80,3	51,9
Mo	2,05	1,17
S	0,57	0,33



вание и др.), требуют особого подхода к разработке технологии их обогащения.

В апреле 2007 г. сотрудники Центральной научно-исследовательской лаборатории СОФ провели лабораторные исследования флотиремости забалансовых руд рудника «Кальмакыр» и промышленные испытания смеси этих руд и руд текущей добычи.

Лабораторные исследования проводили на семи пробах с отвала А-8 массой по 15–30 кг, содержащих 0,16–0,19 % меди. Содержание молибдена, золота и серебра в них составило, соответственно, 0,003–0,004 %, 0,22–0,58 и 1,1–3 г/т. Показатели флотации забалансовой руды представлены в табл. 2.

Как видно, процесс флотации забалансовых руд по стандартной технологии характеризуется невысокими показателями.

В июне 2007 г. между СП ЗАО «ИВС» (ЗАО «НПО «РИВС») и ОАО «Алмалыкский ГМК» был заключен контракт на разработку технологического регламента по переработке забалансовых руд рудника «Кальмакыр». Из скважины В/1 была отобрана проба забалансовых руд. Ее химический состав приведен ниже. Медь на 95,4 % представлена сульфидными формами, молибден на 86,4 % — молибденитом.

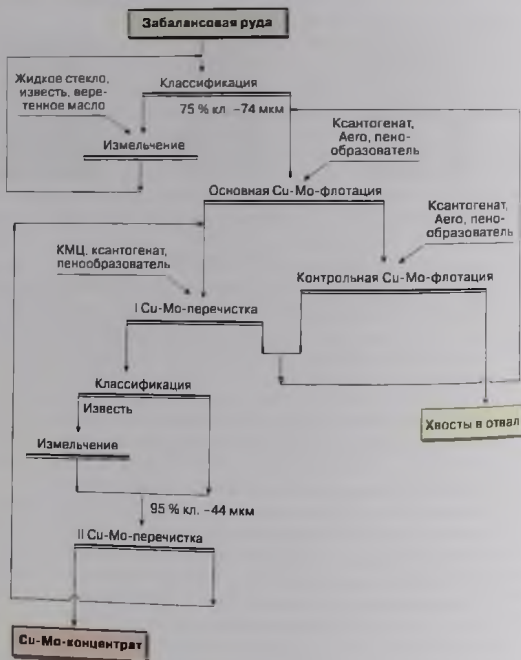
Компонент	Содержание, %
Cu	0,22
Mo	0,0044
Fe	7,1
CaO	5,3
MgO	6
SiO <sub>2</sub>	46,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,5

Специалистами СП ЗАО «ИВС» в лаборатории МОФ ОАО «Алмалыкский ГМК» были проведены лабораторные исследования по разработке схемы и режима коллективного цикла флотации при обогащении забалансовой руды рудника «Кальмакыр».

Существующая схема переработки медно-молибденовой руды месторождения Каль-

Таблица 2. Результаты замкнутого опыта флотации забалансовой руды по существующей технологии

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %			
		Cu	Mo	Cu	Mo	Au	Ag
Концентрат	1,4	7,1	0,04	56,1	18,8	51,9	50,2
Хвосты	98,6	0,08	0,025	43,9	81,2	48,1	49,8
Руда	100	0,18	0,0032	100	100	100	100



Рекомендуемая схема переработки забалансовых медно-молибденовых руд



**Таблица 3. Результаты замкнутых опытов флотации в лабораторных условиях**

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %			
		Cu	Mo	Cu	Mo	Au	Ag
Концентрат	1,68	9,3	0,16	66,5	61,7	64,4	66,2
Хвосты	93,32	0,08	0,0017	33,5	38,3	35,6	33,8
Руда	100	0,22	0,0044	100	100	100	100

макыр включает операции основной и контрольной флотации руды крупностью 50–55 % класса –0,074 мм и две перечистные операции черногого концентрата. Пенный продукт контрольной флотации совместно с хвостами I перечистки после доизмельчения направляют в голову процесса. Вторую перечистку проводят после доизмельчения концентрата до 95 % класса –74 мкм.

В целях совершенствования технологии обогащения забалансовой руды в нее были внесены следующие изменения:

- содержание класса –0,074 мм в измельченной руде увеличено до 75 % для более полного раскрытия минеральных зерен;

- увеличена продолжительность операций основной и контрольной флотации;

- введены модификаторы: депрессор (КМЦ) и пептизатор (жидкое стекло) в целях снижения влияния на флотацию шламистых и глинистых частиц;

- в основной операции плотность пульпы снижена до 25 % с целью уменьшения вязкости пульпы;

- введена обработка реагентами перед операциями основной, I и II перечистой флотации;

- совместное использование в операции коллективной флотации ксантогената и реагента Аерго позволило повысить извлечение меди без снижения качества концентрата;

- исключена операция доизмельчения суммарного промпродукта во избежание образования повышенного количества шламов в основной флотации.

Схема обогащения забалансовых отвалных руд рудника «Кальмакыр» представлена на рисунке.

В табл. 3. приведены результаты флотации пробы забалансовой руды по рекомендуемой технологии. Для данного вида сырья их можно считать доста-

точно высокими. К тому же полученный концентрат может быть разделен по стандартной схеме селекции, существующей на Алмалыкской фабрике

Следует отметить, что попутное извлечение золота и серебра в концентрат составило соответственно, 64,4 и 66,2 %, что делает переработку забалансовых руд еще более рентабельной

На основании положительных результатов, полученных в лабораторных условиях, по предложенной схеме было рекомендовано проведение полупромышленных испытаний. Сроки проведения будут согласованы с ОАО «Алмалыкский ГМК».

Специалистами НПО «РИВС-Проект» разработано ПТЭО производственного комплекса, включающего узлы грохочения, измельчения и классификации, трубопровод для транспортирования рудной пульпы, а также сети инженерного обеспечения. Этот комплекс по вовлечению в переработку забалансовых руд должен стать составной частью технологической цепочки действующих обогатительных фабрик и медеплавильного завода в ОАО «Алмалыкский ГМК». □

*Дабиха Сергей Иванович,  
e-mail: info@agmk.uz*

*Шумская Елена Николаевна  
тел.: (812) 321-57-05*

*Михайлова Анна Владимировна,  
тел.: (812) 321-57-05*

**TECHNOLOGY OF DRESSING OF COPPER-MOLYBDENUM ORES OF BALANCE ORES OF MINE "KALMAKYR"**

**S. I. Dabizha, E. N. Shumskaya, A. V. Mihailova**  
Results of planning of technology of preparation of stockable out of balance ores of deposit "Kalmakyr" are resulted. Bulk Cu-Mo-concentrate is received according to recommended technology in laboratory environment. Carrying out of subcommercial tests is planned.

**Key words:** deposit "Kalmakyr", out of balance ores, technology of dressing, bulk concentrate.

УДК 622.765

 З. ГАНБААТАР, ИОО «Предприятие «Эрдэнэт»  
 А. В. ЗИМИН, Л. М. СОЛОВЬЕВА, Ю. П. НАЗАРОВ (ЗАО «ИВС»)

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БОГАЩЕНИЯ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЭРДЭНЭТИЙН-ОВОО



**З. ГАНБААТАР**  
зам генерального  
директора  
по производству,  
канд. техн. наук



**А. В. ЗИМИН**  
генеральный директор,  
канд. техн. наук



**Л. М. СОЛОВЬЕВА**  
начальник  
технологического отдела



**Ю. П. НАЗАРОВ**  
ведущий научный  
сотрудник, канд. техн. наук

*Приведены результаты успешного внедрения на обогатительной фабрике ИОО «Предприятие «Эрдэнэт» разработанной специалистами СП ЗАО «ИВС» (ЗАО «ИНО «РИВС») новой технологии коллективной флотации Си-Мо руд месторождения Эрдэнэтийн-Овоо. Усовершенствованная технология позволяет повысить извлечение меди и молибдена в одинаковые концентраты без ухудшения их качества.*

**Ключевые слова:** комбинат «Эрдэнэт», медно-молибденовые руды, флотация, реагенты-собиратели, извлечение.

Одной из острых технологических проблем на комбинате «Эрдэнэт» было низкое извлечение молибдена в молибденовый концентрат, которое в 2005 г. составляло 24,48 %.

Перед СП ЗАО «ИВС» была поставлена задача усовершенствовать технологию переработки Си-Мо руд с целью повышения извлечения молибдена. К выполнению данной задачи СП ЗАО «ИВС» приступило в 2006 г., последовательно проводя лабораторные исследования, промышленные испытания и внедрение разработанной технологии.

Оптимизация технологических параметров с использованием современных собирателей для флотации Си-Мо руд месторождения Эрдэнэтийн-Овоо позволила увеличить извлечение молибдена в молибденовый концентрат на 16 % (абс.). В 2007 и 2008 гг. оно повысилось до 40,6–40,8 % без снижения извлечения меди в медный концентрат. В качестве собирателей были выбраны реагенты производства фирм Cytec и КНР. Расходы данных реагентов определялись в зависимости от содержания вторичных и первичных минералов меди в руде, поступающей на обогащение.

Следует отметить, что в этот же период времени практически на всех флотационных секциях обогатительной фабрики (ОФ) осуществлялась модернизация путем установки оборудования СП ЗАО «ИВС» с расширением фронта флотации в отдельных циклах, совершенствовалась схема обогащения руды текущей добычи, что существенно способствовало повышению технологических показателей.

В 2008 г. уже при работе ОФ по новой технологии продолжались исследования, направленные на повышение извлечения молибдена из руд текущей добычи. Согласно результатам минералогического анализа, часть потерь молибдена в отвальных хвостах связана с присутствием в них тонких свободных частиц молибденита. Изменение реагентного режима, технологических точек подачи реагентов, крупности измельченной руды не привело к снижению потерь молибдена с флотационными хвостами.

В конце 2008 г. специалисты СП ЗАО «ИВС» при участии сотрудников исследовательской лаборатории ИОО «Эрдэнэт» приступили к разработке усовершенствованной технологии обогащения Си-Мо руды, обеспечивающей повышение извлечения молибдена в молибденовый концентрат от уже достигнутого уровня без снижения извлечения меди в медный концентрат. В итоге в лабораторных условиях (на базе исследовательской лаборатории ИОО «Эрдэнэт») была разработана технология, обеспечивающая повышение извлечения молибдена в коллективный концентрат на 10–11 % (абс.) при использовании нового собирателя производства фирмы Cytec для медных минералов (как первичных, так и вторичных), а также молибденита вместо ранее используемых собирателей. Положительные результаты, полученные в лабораторных

условиях, позволили провести промышленные испытания усовершенствованной технологии.

Первый этап промышленных испытаний разработанной технологии был проведен в феврале 2009 г. на II секции коллективной флотации ОФ под руководством специалистов СП ЗАО «ИВС». В табл. 1 приведены результаты сравнительных промышленных испытаний разработанной технологии (II секция) и фабричной технологии (I и VI секции коллективной флотации), согласно которым извлечение молибдена в коллективный концентрат на II секции на 11 % выше, чем на I и VI секциях при одновременном повышении извлечения меди.

Рекомендуемая величина pH пульпы в коллективном цикле флотации с использованием нового собирателя фирмы Сутес составляет 9,7–10 против 10–10,5 при использовании прежней смеси собирателей.

Поскольку в период проведения промышленных испытаний содержание первичных минералов меди в исходной руде значительно изменялось, была проанализирована зависимость показателей работы

II секции от соотношения вторичных и первичных минералов меди (табл. 2).

Приведенные результаты свидетельствуют, что при постоянном расходе нового собирателя (20 г/т) наиболее высокое извлечение меди достигается в период подачи руды, содержащей 50–60 % (отн.) первичных минералов меди. При этом по всем периодам отмечается повышение извлечения Mo на 10 % и более.

На основании положительных результатов промышленных испытаний усовершенствованной технологии на II секции были проведены испытания новой технологии на всех секциях ОФ (второй этап).

В ходе второго этапа испытаний на ОФ было переработано около 710 тыс. т руды. Средний расход нового собирателя составил 16 г/т.

Технологические показатели флотации в коллективном цикле во втором этапе промышленных испытаний приведены в табл. 3, согласно которым на всех секциях ОФ достигнут приrost извлечения молибдена в коллективный концентрат на 9–10 % (абс.) при увеличении извлечения меди в коллективный концентрат.

На основании положительных результатов промышленных испытаний разработанной технологии на ОФ специалистами КООП «Эрдэнэт» было принято решение о ее внедрении.

В период внедрения усовершенствованной технологии переработки Cu-Mo-руды (июль — август 2009 г.) специалисты СП ЗАО «ИВС» осуществляли контроль за соблюдением рекомендованных режимных параметров, уточняли оптимальный расход нового собирателя, анализировали технологические показатели флотации.

В целом результаты, достигнутые при внедрении рекомендуемой технологии, соответствовали ранее полученному повышению извлечения молибдена в концентрат при одновременном повышении извлечения меди.

Статистическая обработка показателей по коллективному циклу флотации в период внедрения усовершенствованной технологии позволила установить определенную связь между извлечением меди и молибдена в коллективный концентрат (рис. 1).

Коллективный концентрат после сгущения поступает в цикл доводки с последующим разделением на медный и молибденовый концентраты. На рис. 2 показаны минеральные частицы, входящие в состав коллективного концентрата после его доводки, при которой также использовали новый собиратель. Согласно минералогическому анализу, халькопирит на

Таблица 1. Технологические показатели работы секций

Номер секции	Наименование продуктов	Содержание, %		Извлечение, %	
		Cu	Mo	Cu	Mo
II	Концентрат	16,34	0,41	87,05	71,12
	Хвосты	0,075	0,006	12,95	28,88
	Руда	0,563	0,02	100,0	100,0
I	Концентрат	17,27	0,37	86,55	60,64
	Хвосты	0,078	0,008	13,45	39,36
	Руда	0,553	0,019	100,0	100,0
VI	Концентрат	16,4	0,374	83,57	60,4
	Хвосты	0,092	0,008	16,43	39,6
	Руда	0,545	0,019	100,0	100,0

Таблица 2. Технологические показатели работы II секции при переработке руд различного минерального состава

Содержание первичных минералов меди, %	Наименование продуктов	Содержание, %		Извлечение, %	
		Cu	Mo	Cu	Mo
30–40	Коллективный концентрат	16,03	0,402	86,83	73,53
	Отвальные хвосты	0,08	0,006	13,17	26,47
	Руда	0,59	0,02	100,0	100,0
40–50	Коллективный концентрат	16,43	0,389	85,78	70,94
	Отвальные хвосты	0,08	0,006	14,22	29,06
	Руда	0,56	0,02	100,0	100,0
50–60	Коллективный концентрат	17,38	0,466	88,65	74,72
	Отвальные хвосты	0,07	0,006	11,35	25,28
	Руда	0,56	0,021	100,0	100,0

Таблица 3. Технологические показатели обогащения Cu-Mo-руды в коллективном цикле флотации

Наименование продуктов	Содержание, %		Извлечение, %	
	Cu	Mo	Cu	Mo
Концентрат	16,24	0,5	87,23	69,86
Хвосты	0,075	0,007	12,77	30,14
Руда	0,55	0,021	100,0	100,0



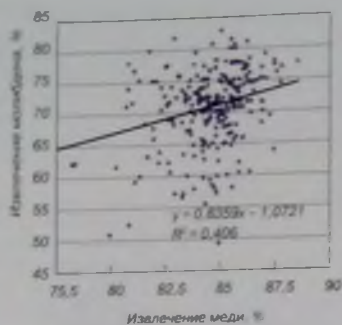


Рис. 1. Взаимосвязь извлечения меди и молибдена в коллективный концентрат

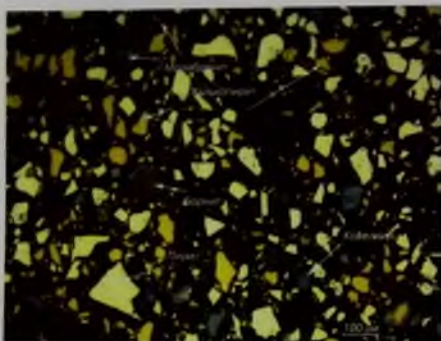


Рис. 2. Минеральные частицы в составе коллективного концентрата после операции его доводки

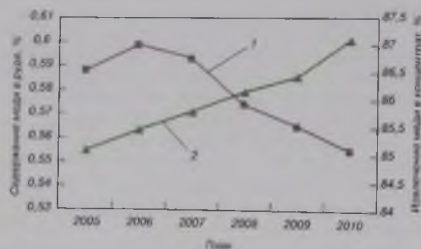


Рис. 3. Изменение технологических показателей по меди:  
1 — содержание меди в руде; 2 — извлечение меди в концентрат

90 % представлен свободными зернами, более 90 % которых находятся в классе крупности +10 мкм. Вторичные сульфиды меди на ~74 % представлены свободными зернами, из которых ~6 % представлены в классе крупности -10 мкм. Сроски вторичных минералов меди составляют 26 % (с пиритом - ~12 %

Таблица 4. Показатели работы ОФ по меди

Технологические показатели	Рекомендуемый режим (в период внедрения)	Фабричный режим (2008 г.)
Содержание меди в руде, %	0,568	0,574
Содержание меди в медном концентрате, %	23,55	24,14
Извлечение меди в медный концентрат, %	86,52	86,15

Таблица 5. Выпуск товарного молибденового концентрата, т

2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г. (план)
2470,7	2982,8	3969,2	3805,2	4752,5	4352

с халькопиритом — 14 %). Борнит на 91 % присутствует в виде свободных частиц крупностью +10 мкм. Сроски борнита в количестве ~7 % связаны с халькопиритом, сроски борнита с пиритом единичны. Молибденит представлен свободными зернами. Минеральный состав концентрата свидетельствует о вполне удовлетворительной подготовке его к операции селекции.

В последующих таблицах и на графике приводятся показатели работы ОФ по меди.

В табл. 4 приведены результаты работы ОФ в различные периоды времени.

Отмечается также повышение извлечения меди в медный концентрат в условиях снижения содержания меди в поступающей на переработку руде. На рис. 3 приведена динамика извлечения меди в медный концентрат за период с 2005 по 2010 г.

Особо следует отметить динамику выпуска молибденового концентрата за этот же период на фоне устойчивого снижения содержания Mo в руде с 0,019 % в 2005 г. до 0,017 % в 2010 г. В табл. 5 приведены данные о выпуске молибденового концентрата на ОФ «Эрдэнэт».

Таким образом, внедрение усовершенствованной технологии обогащения Cu-Mo-руд на ОФ «Эрдэнэт» обеспечивает повышение извлечения и меди, и молибдена в одноименные концентраты.

#### Выводы

1. Результаты промышленных испытаний и начального периода внедрения новой технологии в цикле коллективной флотации на ОФ КОО «Предприятие «Эрдэнэт» подтвердили ее высокую эффективность.

2. Возможность осуществления флотации при использовании рекомендуемого нового собирателя в условиях более низкого значения pH пульпы позволяет уменьшить расход извести и, соответственно, эксплуатационные затраты. □

Ганбаатар З.  
 тел.: +976 (0)13-52-73-501  
 Зимин Алексей Владимирович,  
 e-mail: rivs@rivs.ru  
 Соловьева Лариса Михайловна,  
 тел.: (812) 321-57-05  
 Назаров Юрий Павлович,  
 тел.: (812) 321-57-05

#### IMPROVEMENT OF BENEFICIATION TECHNOLOGY FOR COPPER-MOLYBDENUM ORES FROM ERDENETUYN-OVGO DEPOSIT

Ganbaatar Z., Zimin A. V., Solov'eva L. M., Nazarov Yu. P.  
 The results of successful implementation of the new technology of bulk flotation for Cu-Mo ores from Erdenetuyin-Ovgo deposit developed by specialists from "NPO "RIVS" at "Erdenet" beneficiation factory have been presented. Improved technology allows to increase copper and molybdenum extraction in homonymic concentrates without deterioration of their quality.

**Key words:** "Erdenet" enterprise, copper-molybdenum ores, flotation, reagent collectors, extraction.

УДК 622.765

А. В. ЗИМИН, М. А. АРУСТАМЯН (ЗАО «НПО «РИВС»)

## КОНЦЕПЦИЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД\*



А. В. ЗИМИН,  
 генеральный директор,  
 канд. техн. наук



М. А. АРУСТАМЯН,  
 исполнительный директор,  
 канд. техн. наук

Основным источником производства никеля являются сульфидные медно-никелевые руды. Наиболее крупные месторождения медно-никелевых руд находятся в Канаде, а также в России — это руды Норильских месторождений и Кольского полуострова.

Ряд научно-исследовательских организаций в России в течение многих лет занимались разработкой и совершенствованием технологии обогащения сульфидных медно-никелевых руд. Практические решения, основанные на большом объеме выполненных научно-исследовательских работ, позволили сформировать технологические схемы и режимы их переработки.

В 2008–2009 гг. специалисты фирмы выполнили ряд исследований по разработке новой технологии обогащения шихты оталькованных, тонковкрапленных сульфидных медно-никелевых руд на примере руды текущей добычи Печенгского промышленного района. Для выполнения поставленной задачи по просьбе СП ЗАО «ИВС» компания ОАО «Кольская ГМК» предоставила пробу руды текущей добычи. Основная задача исследований заключалась в совершенствовании технологии обогащения вкрапленных

В компании СП ЗАО «ИВС» разработаны технологии переработки сульфидных медно-никелевых руд Печенгского промышленного района, позволяющие повысить содержание никеля в медно-никелевом концентрате до 15% и уменьшить содержание в нем MgO ниже 1%.

**Ключевые слова:** медно-никелевые руды, флотация, коллективный концентрат, содержание никеля, содержание MgO.

медно-никелевых руд: повышении технологических показателей, снижении общих производственных затрат, а главное — улучшении экологической обстановки в регионе.

Предоставленная для исследования проба руды содержала 0,55 % Ni, 0,24 Cu, 24,4 MgO. Согласно результатам химического и рентгенофазового анализа, петрографических и минераграфических исследований, данная проба руды является тонковкрапленной с повышенным содержанием магнетита. Состав вкрапленников — сульфидный и магнетит-сульфидный. Главные рудные минералы — пентландит, халькопирит, никеленосный пирротин, магнетит, кроме того, наблюдаются хромит, хром-шпинель, троилит, борнит, ильменит, редкие зерна вторичных минералов меди, пирит, кубанит, кобальтин. Нерудные минералы представлены преимущественно минералами группы серпентина, хлоритом, тальком, серицитом, карбонатом, в меньшей степени — оливином, пироксеном и амфиболом, как правило, частично измененными, вплоть до полного замещения вторичными силикатами. На рис. 1 представлено характер-

\* Публикуется в порядке обсуждения.

\*\* Минералогический анализ продуктов обогащения медно-никелевой руды выполнен инженером-минералогом С. П. Нагаевой.

Ганбаатар З.  
 тел.: +976 (0) 13-52-73-501  
 Зимин Алексей Владимирович,  
 e-mail: rivs@rivs.ru  
 Соловьева Лариса Михайловна,  
 тел.: (812) 321-57-05  
 Назаров Юрий Павлович,  
 тел.: (812) 321-57-05

#### IMPROVEMENT OF BENEFICIATION TECHNOLOGY FOR COPPER-MOLYBDENUM ORES FROM ERDENETIYN-OVOO DEPOSIT

Ganbaatar Z., Zimin A. V., Solov'eva L. M., Nazarov Yu. P.  
 The results of successful implementation of the new technology of bulk flotation for Cu-Mo ores from Erdenetiyn-Ovoo deposit developed by specialists from "NPO "RIVS" at "Erdnet" beneficiation factory have been presented. Improved technology allows to increase copper and molybdenum extraction in homonymic concentrates without deterioration of their quality.

**Key words:** "Erdnet" enterprise, copper-molybdenum ores, flotation, reagent collectors, extraction.

УДК 622.765

А. В. ЗИМИН, М. А. АРУСТАМЯН (ЗАО «НПО «РИВС»)

## КОНЦЕПЦИЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД\*



А. В. ЗИМИН,  
 генеральный директор,  
 канд. техн. наук



М. А. АРУСТАМЯН,  
 исполнительный директор,  
 канд. техн. наук

Основным источником производства никеля являются сульфидные медно-никелевые руды. Наиболее крупные месторождения медно-никелевых руд находятся в Канаде, а также в России — это руды Норильских месторождений и Кольского полуострова.

Ряд научно-исследовательских организаций в России в течение многих лет занимались разработкой и совершенствованием технологии обогащения сульфидных медно-никелевых руд. Практические решения, основанные на большом объеме выполненных научно-исследовательских работ, позволили сформировать технологические схемы и режимы их переработки.

В 2008–2009 гг. специалисты фирмы выполнили ряд исследований по разработке новой технологии обогащения шихты оталькованных, тонковкрапленных сульфидных медно-никелевых руд на примере руды текущей добычи Печенгского промышленного района. Для выполнения поставленной задачи по просьбе СП ЗАО «ИВС» компания ОАО «Кольская ГМК» предоставила пробу руды текущей добычи. Основная задача исследований заключалась в совершенствовании технологии обогащения вкрапленных

В компании СП ЗАО «ИВС» разработаны технологии переработки сульфидных медно-никелевых руд Печенгского промышленного района, позволяющие повысить содержание никеля в медно-никелевом концентрате до 15% и уменьшить содержание в нем MgO ниже 1%.

**Ключевые слова:** медно-никелевые руды, флотация, коллективный концентрат, содержание никеля, содержание MgO.

медно-никелевых руд: повышении технологических показателей, снижении общих производственных затрат, а главное — улучшении экологической обстановки в регионе.

Предоставленная для исследований проба руды содержала 0,55% Ni, 0,24 Cu, 24,4 MgO. Согласно результатам химического и рентгенофазового анализа, петрографических и минераграфических исследований, данная проба руды является тонковкрапленной с повышенным содержанием магнетита. Состав вкрапленников — сульфидный и магнетит-сульфидный. Главные рудные минералы — пентландит, халькопирит, никеленосный пирротин, магнетит, кроме того, наблюдаются хромит, хром-шпинель, троилит, борнит, ильменит, редкие зерна вторичных минералов меди, пирит, кубанит, кобальтин. Нерудные минералы представлены преимущественно минералами группы серпентина, хлоритом, тальком, серицитом, карбонатом, в меньшей степени — оливином, пироксеном и амфиболом, как правило, частично измененными, вплоть до полного замещения вторичными силикатами. На рис. 1 представлены характер-

\* Публикуется в порядке обсуждения.

\*\* Минералогический анализ продуктов обогащения медно-никелевой руды выполнен инженером-минералогом С. П. Нагаевой.



Таблица 1. Технологические показатели обогащения медно-никелевой руды

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %					Извлечение, %		
		Zn	Cu	Ni	MgO	№	Cu	Ni	MgO
Действующая технология (2006 г.)									
Ni-Cu-концентрат	4,85	8,27	3,97	22,77	10,8	69,97	76,97	42,38	2,07
Хвосты	95,35	0,17	0,058	1,51	24,95	30,03	23,03	57,67	97,93
Руда	100,0	0,55	0,24	2,5	24,29	100,0	100,0	100,0	100,0
Ожидаемые показатели по новой технологии									
Ni-Cu-концентрат	3,29	12,55	5,7	25,7	3,5	75,1	78,17	37,78	0,47
Хвосты	96,71	8,140	0,054	1,61	25,0	24,9	21,83	62,22	99,53
Руда	100,0	0,55	0,24	2,5	24,29	100,0	100,0	100,0	100,0



Рис. 1. Микрофотографии проб руды

ные рудные вкрапленники магнетита (MT), пентландита (PNT), пирротина (PO), хромита (CRT). Основная масса руды — это серпентин (SER) с редкими включениями других минералов (фотографии выполнены с помощью сканирующего электронного микроскопа Camscan-4DV).

Основываясь на большом практическом опыте работы предприятия и результатах имеющихся исследований различных научно-исследовательских организаций, были определены основные направления исследований для реализации поставленной задачи. Проведено большое число флотационных опытов как в открытых циклах, так и по принципу непрерывного процесса, по подбору схемных решений, режимных параметров, выбору современных реагентов и их расхода, что в итоге позволило значительно снизить содержание магнийсодержащих минералов в медно-никелевом концентрате, значимо повысить содержание никеля в выпускаемом концентрате с увеличением его извлечения по отношению к достигнутому ранее уровню.

Данная задача была решена за счет следующих особенностей разработанной технологии:

- трехстадийного рудного измельчения;
- стадийной флотации;
- раздельных перечистных операций;
- использования новых флотационных реагентов в сочетании с операциями механоактивации поверхности минералов;
- применения схем и режимов флотации, направленных на получение высококачественного коллективного концентрата.

В операциях пульпоподготовки предлагается применение чанов и оттирочных комплексов специального назначения.

На рис. 2 показана принципиальная схема размещения оборудования для переработки медно-никелевой руды при реализации предложенной технологии на примере одной из секций обогащательной фабрики.

В результате разработанной новой технологии

переработки сульфидных вкрапленных медно-никелевых руд (на примере руд Печенгского промышленного района) поставленные задачи были решены. В табл. 1 приведены технологические показатели, полученные по действующей на ОФ ОАО «Кольская ГМК» и вновь разработанной технологиям.

На рис. 3 представлен минеральный состав медно-никелевых концентратов, полученных по действующей технологии и по новой, который явно различается. В концентрате, полученном по новой технологии, значительно возросло содержание полезных компонентов и снизилось — пустой породы.

В табл. 2 приведены результаты сравнительного анализа медно-никелевых концентратов, которые свидетельствуют о качественном перераспределении минералов в концентрате, полученном по новой технологии.

Новый подход к технологии переработки сульфидных вкрапленных медно-никелевых руд может обеспечить повышение качественных показателей обогащения со снижением выпуска массы медно-никелевых концентратов, что позволит значительно сократить количество серы в концентрате, направляемом на дальнейшую переработку в металлургический передел, а также будет способствовать заметному снижению содержания MgO в выпускаемом концентрате, что впоследствии даст возможность снизить затраты на металлургическом переделе. Ориентировочный расчет показывает, что при объеме переработки руды 7,5 млн т в год новая технология обеспечит снижение

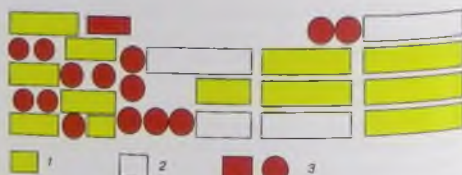


Рис. 2. Принципиальная схема размещения оборудования по новой технологии:

- 1 — существующее оборудование;
- 2 — модернизированное оборудование;
- 3 — вновь устанавливаемое оборудование: флотомашины, контактные чаны, оттирочные комплексы

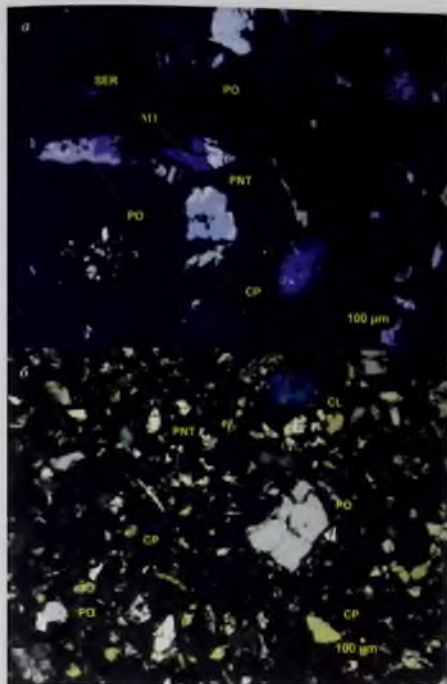


Рис. 3. Медно-никелевый концентрат, полученный по действующей (а) и новой (б) технологиям

количества S в выпускаемом концентрате на 8593 т, MgO — на 29029 т при увеличении извлечения Ni и Cu во флотационный концентрат на 4–5 и 1–1,5 % соответственно.

Капитальные вложения для внедрения новой технологии на обогатительной фабрике ориентировочно составят 50 млн долл. США, с окупаемостью в течение 1,6 года.

Капитальные вложения окупятся за счет:

- получения дополнительных металлов товарного качества;
- снижения объема концентрата и затрат на его обжиг и брикетирование;

Таблица 2. Минеральный состав концентратов

Минералы	Содержание в Cu-Ni-концентрате, %	
	Действующая технология (содержание Ni – 8,95 %)	Новая технология (содержание Ni – 12,95 %)
Пентландит	25,5	33
Халькопирит	8,5	11
Пирротин	29	35
Магнетит	7	3
Нерудные минералы	29	7
Серпентин	14	4
Тальк	12	2
Хлорит	1	0,5
Амфибол	2	0,5
Другие	1	1
Итого	100,0	100,0

- снижения затрат на электроэнергию при электроплавке шихты ввиду более низкого содержания MgO в шихте;
- снижения затрат на перевозку брикетов.

Проведенные исследования на примере руды Печенгского промышленного района свидетельствуют о том, что они перспективны. При разработке новой технологии проверена возможность дальнейшего повышения содержания Ni в Cu-Ni-концентрате (до 15 %) с уменьшением содержания MgO в нем ниже 1 % [4].

Зимин Алексей Владимирович,  
e-mail: rivs@rivs.ru  
Арустамян Михаил Армаисович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

#### CONCEPT OF SOLVING THE PROBLEMS DURING PROCESSING OF COPPER-NICKEL ORES

A. V. Zimin, M. A. Arustamyan

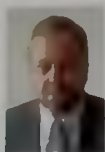
Technologies of processing of sulphide copper-nickel ores from Pechengsky industrial area allowing to increase nickel content in copper-nickel concentrate up to 15%, and reduce content of MgO in this concentrate less than 1% has been developed in SP "RIVS" company.

**Key words:** copper-nickel ores, flotation, collective concentrate, nickel content, MgO content.

УДК 622.7.343.346.1

А. В. ЗИМИН, К. М. АРУСТАМЯН, ЗАО «НПО «РИВС»

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ АЭРАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ОАО «КОЛЬСКАЯ ГМК»



**А. В. ЗИМИН**  
генеральный директор  
канд. техн. наук



**К. М. АРУСТАМЯН**  
инженер-технолог

Необходимость поддержания рентабельности производства в условиях общей тенденции увеличения затрат при обогащении руд ставит задачу повышения эффективности работы основного технологического оборудования.

Наиболее перспективным направлением в горном производстве является внедрение нового оборудования и эффективных технологий в перелоб обогащения руд. Относительно небольшие капитальные вложения в реконструкцию обогатительной фабрики окупаются в короткие сроки.

Одним из предприятий, успешно занимающихся модернизацией флотационного оборудования, является ОАО «Кольская ГМК», перерабатывающая тонковкрапленные медно-никелевые руды Печенгского рудного поля.

Начиная с 1985 г. на обогатительной фабрике ОАО «Кольская ГМК» выполнен большой объем работ по модернизации парка флотомашин:

- проведена реконструкция двух секций флотации (I и II) с заменой флотомашин ФПМ-6,3 и ФМ-6,3 на флотомашину ОК-38 фирмы «Оутокулпу» (Финляндия);

- по причине недостаточно эффективной работы азраторов ОК-38 на реконструированных секциях заменены во всех операциях флотации азрационными комплексами РИФ 9 производства НПО «РИВС» (Россия), что позволило повысить извлечение никеля на 4,3 %, меди на 3,2 % при снижении энергозатрат на 10–15 %;

- проведена реконструкция III секции с установкой 38 камер флотомашин РИФ 45 и 30 камер РИФ 8,5, что позволило повысить извлечение никеля на 1 %;

- в 2008 г. в ходе промышленных испытаний азрационных комплексов РИФ 9, РИФ 11, AKER (ООО «Минпро Интернейшенл», Норвегия), Float-Force (Outotec, Финляндия) установлена более высокая эффективность азрационных комплексов РИФ 11;

*Приведен опыт реконструкции флотационного перелома на обогатительной фабрике ОАО «Кольская ГМК». В ходе реконструкции проведены сравнительные испытания азрационных комплексов РИФ 11 и Float-Force 900. Показано преимущество комплексов РИФ 11, обеспечивающих более высокую технологическую эффективность в операции основной коллективной медно-никелевой флотации.*

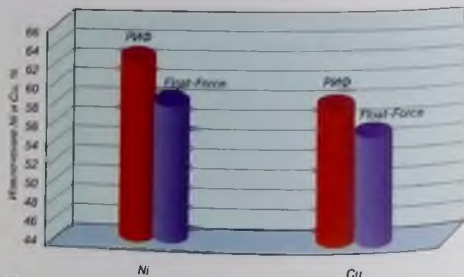
**Ключевые слова:** медно-никелевые руды, флотация, азрационные комплексы.

при этом рекомендовано провести дополнительные сравнительные испытания азрационных комплексов РИФ 11 и Float-Force 900:

- в настоящее время на I и II секциях ОФ проводится дальнейшая модернизация флотомашин ОК-38 с установкой азрационных комплексов РИФ 11; испытываются азрационные комплексы различных фирм-производителей флотационного оборудования.

В 2009 г., согласно программе, разработанной специалистами комбината ОАО «Кольская ГМК», на II секции ОФ были проведены сравнительные промышленные испытания азрационных комплексов РИФ 11 и Float-Force 900, установленных во флотомашинах ОК-38, работающих в операции основной медно-никелевой флотации. Испытания проводились при участии представителей НПО «РИВС» и Outotec.

Сравниваемые 4-камерные флотомашины ОК-38 работали в параллельных нитках на питании, поступающем из одного пульподелителя. В период проведения испытаний происходило значительное изменение качественных характеристик питания флотомашин как по содержанию никеля, так и по грануломет-



**Рис. 1.** Извлечение никеля и меди в пенные продукты на I этапе испытаний

© Зимин А. В., Арустамян К. М., 2010



**Таблица 1. Усредненные технологические показатели I этапа сравнительных испытаний**

Наименование продуктов	Выход, %		Содержание, %				Извлечение, %			
	РИФ	Float-Force	РИФ		Float-Force		РИФ		Float-Force	
			Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu
Концентрат	17,39	15,58	2,548	0,924	2,638	0,977	63,1	58,2	58,5	58,1
Хвосты	82,61	84,42	0,314	0,140	0,345	0,147	36,9	41,8	41,5	44,9
Питание	100,00	100,00	0,702	0,276	0,702	0,276	100,0	100,0	100,0	100,0

**Таблица 2. Технологические показатели II этапа испытаний**

Наименование продуктов	Выход, %		Содержание, %				Извлечение, %			
	РИФ	Float-Force	РИФ		Float-Force		РИФ		Float-Force	
			Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu
Концентрат	18,66	18,33	2,447	0,903	2,339	0,869	63,2	60,6	59,3	57,2
Хвосты	81,34	81,67	0,327	0,135	0,359	0,146	36,8	39,4	40,7	42,8
Питание	100,00	100,00	0,722	0,278	0,722	0,278	100,0	100,0	100,0	100,0

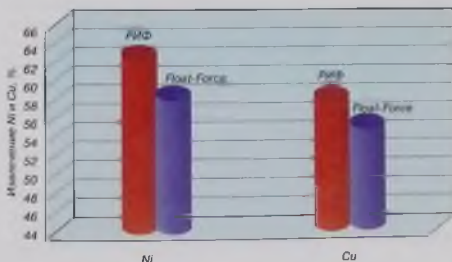
рическому составу. Содержание класса -74 мкм в питании основной флотации изменялось от 87 до 93 %, класса -44 мкм — от 72 до 83 %; содержание твердого — от 29 до 36 %; никеля — от 0,5 до 0,99 %, меди — от 0,173 до 0,495 %. По данным минералогического анализа, в классе -10 мкм доля свободных зерен пентландита в питании флотации составляла 54 %, а халькопирита — 67 %.

Испытания проводили в два этапа с соблюдением регламента технологического процесса, действующего на ОФ.

На I этапе испытания проводили при одинаковых параметрах и условиях работы сравниваемых флотомашин (равное распределение питания, одинаковый уровень пульпы, расход воздуха и флотореагентов).

Усредненные технологические показатели I этапа испытаний по результатам опробований приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Как следует из приведенных данных, азрационные комплексы РИФ 11 обеспечивают более высокое извлечение никеля и меди в операции основной медно-никелевой флотации (на 4,6 и 3,1 % соответственно) по сравнению с азрационными комплексами Float-Force 900 при практически равноценном качестве концентратов по содержанию никеля и меди.



**Рис. 2. Извлечение никеля и меди в пенные продукты на II этапе испытаний**

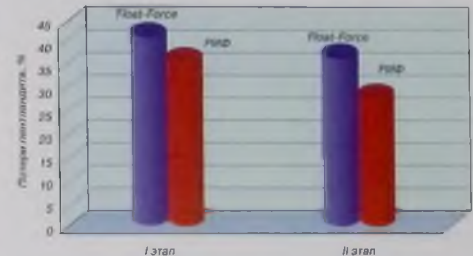
На II этапе проведены испытания флотомашин ОК-38 при изменении параметров и условий работы сравниваемых флотомашин (корректировали уровень пульпы, расход воздуха и флотореагентов) с целью получения оптимальных технологических показателей.

Усредненные технологические показатели II этапа испытаний приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Как видно, на II этапе испытаний азрационные комплексы РИФ 11 также обеспечили более высокое извлечение в операции основной медно-никелевой флотации (на 4,6 и 3,1 % соответственно) по сравнению с комплексами Float-Force 900 (на 3,9 и 4,1 % соответственно).

Одним из важных критериев оценки эффективности работы азрационных комплексов флотомашин являются их конструктивные особенности, позволяющие селективно флотировать, в том числе тонкие частицы полезных минералов.

Ввиду того, что медно-никелевая руда, перерабатываемая на ОФ, является тонкоякрасленной, для оценки эффективности работы флотомашин ОК-38 с азраторами РИФ и Float-Force на I и II этапах испытаний выполнен анализ потерь пентландита в камерных продуктах. Полученные результаты приведены на рис. 3.



**Рис. 3. Потери пентландита в камерных продуктах флотомашин**

Как следует из приведенных данных, потери пентландита в камерных продуктах флотомашин ОК-38 с аэрационными комплексами РИФ 11 на 5–9 % меньше по сравнению с аэраторами Float-Force 900. Это объясняется тем, что аэрационные комплексы РИФ обеспечивают более тонкую диспергацию воздуха, что необходимо для эффективной флотации тонких частиц полезных минералов.

При проведении испытаний замерены токовые нагрузки и рассчитана мощность, потребляемая аэраторами, которая составила для аэрационных комплексов РИФ 11 40–42 кВт на камеру, или 1,1 кВт на 1 м<sup>3</sup> геометрического объема камеры, для аэрационных комплексов Float-Force 900 — 44–46 кВт и 1,2 кВт соответственно.

Таким образом, в ходе испытаний аэрационные комплексы РИФ 11 показали более высокую технологическую эффективность работы в операции основной коллективной медно-никелевой флотации по сравнению с аэрационными комплексами Float-Force 900: не только достигнуто более высокое извлечение никеля и меди, но и снижена потребляемая мощность.

Указанные результаты подтвердили целесообразность дальнейшей модернизации флотомашин ОК-38 с применением аэраторов РИФ 11 [4].

Зимин Алексей Владимирович,  
e-mail: rivs@rivs.ru  
Арустамян Карен Михайлович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

#### THE RESULTS OF TESTING OF AERATION COMPLEXES IN DIFFERENT CONSTRUCTIONS AT "KOLA MINING AND METALLURGICAL COMPANY"

Zimin A. V., Arustamyan K. M.

Experience in reconstruction of flotation process stage at concentration plant of "Kola Mining and Metallurgical Company" is presented. During reconstruction, comparative tests of RIF 11 and Float-Force 900 aeration complexes have been realized. Advantage of RIF 11 complexes, providing higher technological efficiency in operation of main copper-nickel bulk flotation has been shown.

**Key words:** copper nickel ores, flotation, aeration complexes.

УДК 622.7.622.765.553.641

А. В. МИХАЙЛОВА, Я. В. ГАРИНИЧЕВ (ЗАО «НПО «РИВС»)

## ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛОТАЦИИ АПАТИТА ИЗ РУДЫ КОВДОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



А. В. МИХАЙЛОВА,  
инженер-технолог



Я. В. ГАРИНИЧЕВ,  
инженер-технолог

Приведены результаты флотации апатита из руды Ковдорского месторождения с использованием нового реагента-собирателя. В ходе лабораторных исследований показана возможность повышения содержания  $P_2O_5$  в апатитовом концентрате при одновременном увеличении извлечения.

**Ключевые слова:** Ковдорское месторождение, апатит, флотация, собиратель, качество концентрата, извлечение.

Ковдорское месторождение комплексных апатит-магнетитовых руд относится к Ковдорскому массиву ультраосновных щелочных пород и карбонатитов. Полезными минералами в них являются магнетит, апатит и бадделит. Породные минералы большей частью представлены силикатами (форстеритом и серпентинитом) и карбонатами (кальцитом, доломитом и штаффелитом).

Схема переработки руд на Ковдорской фабрике включает четырехстадийное дробление, двухстадийное измельчение и трехстадийную магнитную сепарацию. Хвосты сепарации после измельчения до 34–36 % класса –74 мкм и обесшламливания в ступицах являются питанием апатитовой флотации.

Шламы направляют в отвал, а хвосты апатитовой флотации — в гравитационно-флотационное отделение бадделейтового обогащения. Цикл флотации апатита включает основную флотацию, две контрольные и две перечистные операции. При флотации апатита используют собирательную смесь ЖКТМ с подавлением карбонатных и силикатных минералов жидким стеклом в присутствии регулятора свойств пены и соды, создающей щелочную среду.

В 2009 г. в СП ЗАО «ИВС» на пробе немагнитной фракции дробленной руды текущей добычи Ковдорского месторождения проведены испытания различных флотационных реагентов с целью определения возможности повышения извлечения апатита в кон-

© Михайлова А. В., Гариничев Я. В., 2010

**Результаты замкнутых опытов апатитовой флотации**

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %		Извлечение $P_2O_5$ , %
		$P_2O_5$	MgO	
Концентрат	20,6/21,3	38,05/38,35	1,6/1,5	81/84,7
Хвосты	79,4/78,7	2,31/1,88	—	19/15,3
Питание флотации	100/100	9,67/9,65	—	100/100

Примечание. В числителе — фабричный режим, в знаменателе — рекомендуемый режим.

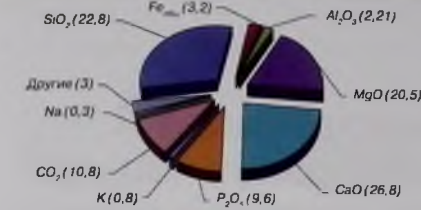


Рис. 1. Химический состав пробы немагнитной фракции, %

центрат до 82 % без потери его качества: содержание  $P_2O_5$  должно составлять не менее 38 %, MgO — менее 1,8 %. При проведении исследований особое внимание уделялось реагентам, не требующим соблюдения определенного температурного режима в ходе их приготовления.

Предоставленная для испытаний проба характеризуется несколько пониженным содержанием  $P_2O_5$  (рис. 1) и повышенным карбонатным модулем (0,8).

При лабораторных опытах в открытом цикле по фабричной схеме апатитовой флотации Ковдорской ОФ оценивали влияние предварительного обесшламливания, крупности питания флотации, типа и расхода флотационных реагентов.

Лучшие результаты апатитовой флотации были достигнуты после измельчения руды до крупности 36 % класса -74 мкм с последующим удалением шламов (-30 мкм). Такой режим подготовки руды к флотации минимизирует негативное влияние шламов на показа-

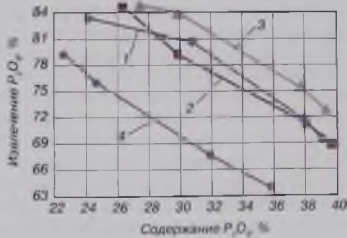


Рис. 2. Результаты флотации в открытом цикле с использованием различных собирателей: 1 — ЖКТМ; 2 — ЖКТМ + собиратель +3\*; 3 — собиратель +1\*; 4 — собиратель +2\*

тели процесса. Использование различных модификаторов не повысило результатов флотации, лучшей депрессия карбонатов наблюдалась после последовательной обработки пульпы кальцинированной содой и жидким стеклом.

При изучении собирательной способности новых флотационных реагентов-собирателей +1\*, +2\*, +3\* наилучшую селективность по отношению к апатиту показал собиратель +1\* (рис. 2). При его использовании прирост извлечения  $P_2O_5$  составил 3,3 % по сравнению с базовым режимом. Содержание  $P_2O_5$  в концентратах, полученных при использовании собирателя +1\* и стандартной фабричной смеси ЖКТМ, сопоставимо. Новый реагент подавался в натуральном виде, в то время как ЖКТМ требует омыления и подогрева до 50 °С.

С целью определения показателей флотации ковдорской руды при использовании реагента +1\* были поставлены опыты в замкнутом цикле по принципу непрерывного процесса (см. таблицу и рис. 3). Полученный концентрат отвечает установленным требованиям по содержанию  $P_2O_5$  — не менее 38 % и MgO — менее 1,8 %. Использование собирателя +1\* позволило повысить качество концентрата по содержанию в нем  $P_2O_5$ , увеличить выход концентрата и повысить извлечение апатита. Эффективность флотации (criterion Napcook — Luiken) составила, % по фабричному режиму — 66,9; по рекомендуемому режиму — 70,2.

**Выводы**

1. В ходе испытаний в лабораторных условиях показана возможность повышения технологических показателей апатитовой флотации на руде текущей добычи Ковдорского месторождения при использовании нового реагента-собирателя.
2. Целесообразно продолжить работы по совершенствованию технологической схемы апатитовой

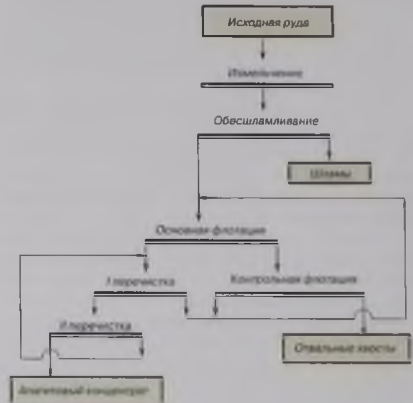


Рис. 3. Схема проведения опыта флотации апатита в замкнутом цикле



флотации с использованием данного флотационного реагента-собираателя в условиях Ковдорской обогатительной фабрики [2]

Михайлова Анна Владимировна,  
тел. (812) 321-57-05  
Гараничев Яков Васильевич,  
тел. (812) 321-57-05

### RESEARCHING APATITE FLOTATION FROM ORE OF KOVDORSKY DEPOSIT

Mikhaylova A. V., Garanichev Ya. V.  
The results of apatite flotation from ore of Kovdorsky deposit using new collector agent have been conducted. Possibility of increase P2O5 contents in apatite concentrate with simultaneous increase of extraction via laboratory researches has been shown.

**Key words:** Kovdorsky deposit, apatite, flotation, collector, concentrate quality, extraction.

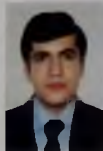
УДК 622.70

А. М. АРУСТАМЯН, К. М. АРУСТАМЯН (ЗАО «НПО «РИВС»)

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БОГАЩЕНИЯ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД КАДЖАРАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



А. М. АРУСТАМЯН,  
зам. главного  
инженера проекта



К. М. АРУСТАМЯН,  
инженер-технолог

Каджаранское месторождение медно-молибденовых руд является сырьевой базой ЗАО «Зангезурский ММК». Обогащительная фабрика, входящая в состав ЗАО «Зангезурский ММК», введена в эксплуатацию в 1952 г. с объемом переработки 1,7 млн т руды в год.

В последующие годы фабрика неоднократно подвергалась реконструкции и расширению с увеличением объема переработки руд, достигшего к 2005 г. 8,2 млн т руды в год.

В 2005 г., согласно выигранному тендеру, заключен контракт между ЗММК (Заказчик) и компанией СП ЗАО «ИВС», входящей в состав ЗАО «НПО «РИВС» (Генпроектировщик и Генподрядчик) на проектирование, строительство и поставку нового оборудования для обогатительной фабрики.

Проектом предусмотрено увеличение мощности предприятия по переработке руды до 12,5 млн т в год на существующих площадях со строительством нового корпуса полусамозмельчения.

Одновременно с начавшейся реконструкцией специалистами СП ЗАО «ИВС» проведены исследования, направленные на совершенствование технологии обогащения медно-молибденовых руд, с разработкой технологического регламента для проектирования.

Приведены результаты лабораторных исследований, направленных на совершенствование технологии флотационного обогащения медно-молибденовых руд Каджаранского месторождения. Рекомендовано в цикле медной флотации использовать реагенты AeroMX и AeroPlot при остаточной концентрации сернистого натрия не выше 0,07 % и температуре пульпы 25–27 °С.

**Ключевые слова:** Каджаранское месторождение, медно-молибденовые руды, флотация, реагентный режим, температура пульпы.

Совершенствование технологии переработки медно-молибденовых руд основывалось на изучении вещественного состава руд, а также на результатах ранее проведенных исследований на их обогатимость.

### Изучение вещественного состава медно-молибденовых руд

Оруднение представлено молибденитом, пиритом, халькопиритом в виде тонких прожилков, вкрапленностей, примазок, изредка — небольших гнезд. Иногда в них встречается редкая вкрапленность сфалерита, галенита, магнетита. Содержание меди в руде составляет 0,18 %, молибдена — 0,047 %.

На рис. 1 представлено химический состав медно-молибденовой руды Каджаранского месторождения. На рис. 2 представлены фазовый состав меди и молибдена в исследуемых пробах месторождения.

Породообразующие минералы представлены плагиоклазом (19–55 %), полевым шпатом (20–54 %), пироксеном (1–19 %), амфиболами (до 12 %), апатитом (0,2–2,8 %), сфеном (до 2 %). Содержание вторичных минералов не превышает 15 %.

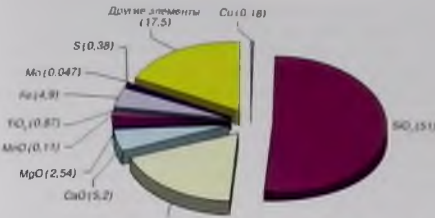


Рис. 1. Химический состав (%) медно-молибденовой руды

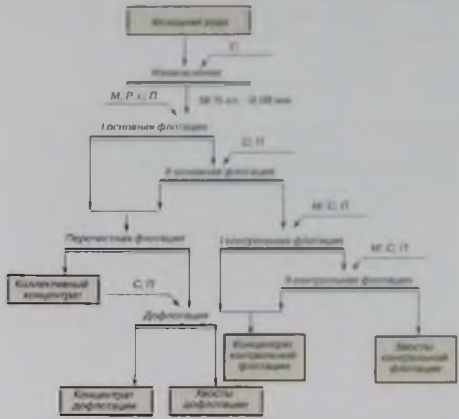


Рис. 3. Технологическая схема проведения лабораторных исследований (С — собиратель; М — модификатор; Р. — регулятор среды; П — пенообразователь)



Рис. 2. Фазовый состав (% отн.) меди (а) и молибдена (б)

Кривые обогатимости медно-молибденовых руд, построенные на основании лабораторных испытаний по различным режимам, приведены на рис. 4 и 5.

Выбранные реагенты AeroMX и Aeroflot более устойчивы при флотации медно-молибденовых руд, обеспечивают получение более высокой технологи-

**Лабораторные исследования по оптимизации реагентного режима коллективной медно-молибденовой флотации**  
 Коллективная флотация медно-молибденовых руд с последующей селекцией является традиционной при обогащении данного сырья. Как известно, ее эффективность зависит от крупности вкрапления минералов меди и молибдена, степени их раскрытия, развития процессов поверхностного окисления. Повышение технологических показателей коллективного цикла в условиях ухудшения технологических свойств перерабатываемых руд на основе традиционных реагентов является трудноразрешимой задачей.

В настоящее время на рынке флотационных реагентов активно участвуют многие предприятия, такие, как Akzo Nobel, Allied, Colloids, Century Oils, Cheminova, Clariant, Dow Chemical, Cytec Industries и др.

Работы по изысканию эффективных флотационных реагентов и формированию реагентного режима коллективного цикла медно-молибденовой флотации проводили в исследовательской лаборатории Каджаранской обогатительной фабрики сотрудники СП ЗАО «ИВС» совместно со специалистами комбината.

В период с 2005 по 2009 г. на пробах руд текущей добычи испытаны различные собиратели, пенообразователи и модификаторы с целью определения пути повышения технологических показателей коллективной медно-молибденовой флотации. Схема проведения опытов по исследованию флотационных свойств собирателей приведена на рис. 3. В качестве пенообразователя использовали ОПСБ, в качестве собирателей — реагенты AeroMX и Aeroflot фирмы Cytec.

В таблице представлены данные по оценке эффективности исследуемых режимов флотации.

**Технологические показатели основной коллективной медно-молибденовой флотации при различных реагентных режимах**

Наименование продуктов флотации	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Mo	Cu	Mo	Cu
<b>Фабричный режим</b>					
Концентрат	0.91	3.95	13.45	76.99	67.39
Промпродукты	4.87	0.105	0.52	10.93	13.97
Объединенный пенный продукт	5.78	0.712	2.564	87.92	81.36
Хвосты	94.22	0.006	0.036	12.08	18.64
Руда	100.0	0.047	0.182	100.0	100.0
<b>Режим №1 с подачей рекомендуемого собирателя в измелчение</b>					
Концентрат	1.12	3.5	13.3	82.54	79.47
Промпродукты	4.97	0.076	0.39	8.04	10.48
Объединенный пенный продукт	6.09	0.704	2.76	90.58	89.95
Хвосты	93.91	0.005	0.02	9.42	10.05
Руда	100.0	0.047	0.187	100.0	100.0
<b>Режим №2 с подачей рекомендуемого собирателя в основную флотацию</b>					
Концентрат	0.91	3.95	13.7	76.65	68.15
Промпродукты	5.47	0.111	0.64	12.98	19.07
Объединенный пенный продукт	6.38	0.6598	2.5048	89.63	87.22
Хвосты	93.62	0.0052	0.025	10.37	12.78
Руда	100.0	0.047	0.183	100.0	100.0

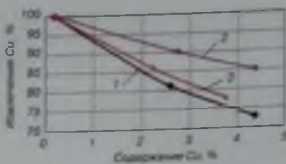


Рис. 4. Кривые обогатимости по меди:  
1 — фабричный режим; 2 — режим № 1;  
3 — режим № 2

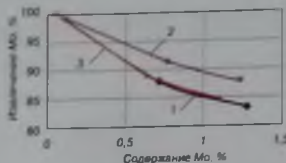


Рис. 5. Кривые обогатимости по молибдену:  
1 — фабричный режим; 2 — режим № 1;  
3 — режим № 2

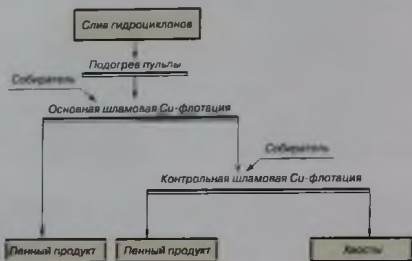


Рис. 6. Технологическая схема проведения опытов медной шламовой флотации

ческих показателей по сравнению с другими испытанными собирателями.

Следует отметить, что при подаче рекомендуемого собирателя AeroMX непосредственно в операцию измельчения, а не в основную флотацию, извлечение молибдена возрастает с 76,7 до 82,5%, а меди — 68,2 до 79,5%.

Сопоставление полученных зависимостей (см. рис. 4 и 5) свидетельствует в пользу выбранного реагента и целесообразности его подачи в операцию измельчения.

**Оптимизация технологических параметров операции медной шламовой флотации**

В ходе оптимизации технологических параметров медной шламовой флотации на Каджаранской обогатительной фабрике с целью снижения потерь меди в отвальных хвостах выполнен ряд исследовательских работ.

На первом этапе испытаний определена зависимость содержания меди в пенном продукте и ее извлечения от температуры пульпы при различной остаточной концентрации в ней сернистого натрия. В питании

медной шламовой флотации фактическое содержание  $\text{CaO}$  (своб.) изменялось от 455 до 487 мг/л, а остаточная концентрация  $\text{Na}_2\text{S}$  — от 0.102 до 0,07%. Фабричный температурный режим при этом поддерживался в интервале 35–45 °С.

Флотационные испытания при различных значениях температуры пульпы и остаточной концентрации в ней сернистого натрия и известки проводили по схеме, представленной на рис. 6.

Результаты опытов флотации представлены на рис. 7.

Оптимизацию температурного режима шламовой флотации проводили при различном остаточном содержании сернистого натрия в жидкой фазе пульпы.

Как видно, с ростом температуры извлечение меди в пенный продукт основной шламовой флотации возрастает во всех случаях.

На втором этапе исследований подобран оптимальный реагентный режим в цикле медной шламовой флотации. Испытаны следующие собиратели: кантогенат, AeroMX, Aeroflot.

Данные (рис. 8) свидетельствуют о преимуществе реагентов AeroMX и Aeroflot по сравнению с кантогенатом. Использование рекомендуемых собирателей позволяет повысить извлечение меди от операции с 81,2 до 91,5%.

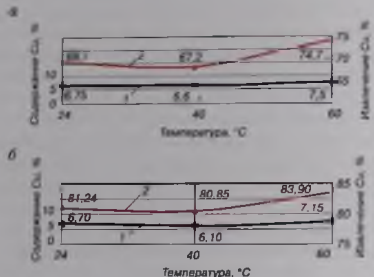


Рис. 7. Зависимость технологических показателей флотации от температуры пульпы при остаточной концентрации  $\text{CaO}$  (своб.) 455 мг/л и  $\text{Na}_2\text{S}$  — 0,1% (а) и, соответственно, 487 мг/л и 0,07% (б):  
1 — содержание Cu, %; 2 — извлечение Cu, %

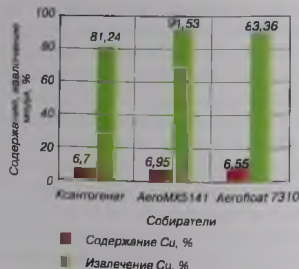


Рис. 8. Зависимость технологических показателей от типа используемого собирателя



### Выводы

Рекомендовано поддерживать в питании шламовой флотации остаточную концентрацию ионов сернистого натрия не выше 0,07 %, при ее снижении с 0,102 до 0,07 % извлечение меди повышается на 3,2 % (абс.).

Определен оптимальный температурный режим питания шламовой флотации (25–27 °С), обеспечивающий стабильность технологических показателей.

По результатам лабораторных исследований предложен реагентный режим на основе собирателей AeroMX (подача в рудное измельчение) и Aeroflot (подача в контрольную флотацию).

Разработанная флотационная технология с использованием рекомендуемых реагентов обеспечивает получение более высоких показателей в коллективном цикле по сравнению с существующим режимом: извлечение меди и молибдена повысилось на 2,7 и 8,6 % соответственно.

На основании положительных результатов лабораторных исследований принято решение о проведе-

УДК 622.765

**И. А. АБДРАХМАНОВ, Р. А. ЯГУДИН** (ОАО «Учалинский ГОК»)

**А. В. ЗИМИН** (ЗАО «НПО «РИВС»)

**Е. П. КАЛИНИН, Л. А. НЕМЧИНОВА** (ЗАО «НПО «РИВС», Уральское представительство)

## ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦИНКОВОГО ЦИКЛА НА ОБОГАТИТЕЛЬННОЙ ФАБРИКЕ ОАО «УЧАЛИНСКИЙ ГОК»



**И. А. АБДРАХМАНОВ,**  
генеральный директор,  
канд. техн. наук



**Р. А. ЯГУДИН,**  
начальник  
обогащительной фабрики



**А. В. ЗИМИН**  
генеральный  
директор,  
канд. техн. наук



**Е. П. КАЛИНИН,**  
директор



**Л. А. НЕМЧИНОВА,**  
начальник научно-исследовательской лаборатории

нии промышленных испытаний новой технологией на Каджаранской обогатительной фабрике [1]

*Арустамян Армен Михайлович,*  
тел. (812) 321-57-05

*Арустамян Карен Михайлович,*  
тел. (812) 321-57-05

### IMPROVEMENT OF BENEFICIATION TECHNOLOGY OF COPPER-MOLIBDENUM ORES FROM KADZHARANSKOE DEPOSIT

**Arustamyan A. M., Arustamyan K. M.**

The results of laboratory researches, directed on improvement of technology of flotation beneficiation of copper-molybdenum ores from Kazhdaransko deposit have been presented. It is recommended to use AeroMX and Aeroflot reagents in the cycle of copper flotation with residual concentration of sodium sulphide not more than 0,07 % and at temperature of pulp as much as 25–27 °C.

**Key words:** Kadzharanshoe deposit, copper molybdenum ores, flotation, reagent conditions, temperature of pulp.

*Приведен опыт внедрения на обогатительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК» азрационно-тепловой обработки пульпы, а также механической активации поверхности минеральных частиц с помощью оттирочного комплекса ОФК 15 РИФ в цинковом цикле технологической схемы. Указанные мероприятия позволили повысить содержание цинка в одноименном концентрате и извлечение металла.*

**Ключевые слова:** медно-цинковые сульфидные руды, сфалерит, халькопирит, пирит, азрационно-тепловая обработка, механическая активация, оттирочный комплекс.

На Учалинской обогатительной фабрике, перерабатывающей сложные медно-цинк-пиритные руды Учалинского, Узельгинского, Молодежного и Талганского месторождений, получение высококачественных концентратов затруднено в связи с тонким проращением минералов меди и сфалерита с пиритом и высокой флотационной активностью последнего. Поэтому в технологических схемах применяют тонкое доизмельчение (до 94–96 % класса – 44 мкм) промпродуктов медного и цинкового циклов флотации.

Поскольку только операции доизмельчения продуктов обогащения в цинковом цикле не дают желаемого результата, одним из основных путей регулиро-

### Выводы

Рекомендовано поддерживать в питании шламовой флотации остаточную концентрацию ионов сернистого натрия не выше 0,07 %, при ее снижении с 0,102 до 0,07 % извлечение меди повышается на 3,2 % (абс.).

Определен оптимальный температурный режим питания шламовой флотации (25–27 °С), обеспечивающий стабильность технологических показателей.

По результатам лабораторных исследований предложен реагентный режим на основе собирателей AeroMX (подача в рудное измельчение) и Aeroflot (подача в контрольную флотацию).

Разработанная флотационная технология с использованием рекомендуемых реагентов обеспечивает получение более высоких показателей в коллективном цикле по сравнению с существующим режимом: извлечение меди и молибдена повысилось на 2,7 и 8,6 % соответственно.

На основании положительных результатов лабораторных исследований принято решение о проведе-

УДК 622.765

**И. А. АБДРАХМАНОВ, Р. А. ЯГУДИН** (ОАО «Учалинский ГОК»)

**А. В. ЗИМИН** (ЗАО «НПО «РИВС»)

**Е. П. КАЛИНИН, Л. А. НЕМЧИНОВА** (ЗАО «НПО «РИВС», Уральское представительство)

## ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦИНКОВОГО ЦИКЛА НА ОБОГАТИТЕЛЬННОЙ ФАБРИКЕ ОАО «УЧАЛИНСКИЙ ГОК»



**И. А. АБДРАХМАНОВ,**  
генеральный директор,  
канд. техн. наук



**Р. А. ЯГУДИН,**  
начальник  
обогащительной фабрики



**А. В. ЗИМИН,**  
генеральный  
директор,  
канд. техн. наук



**Е. П. КАЛИНИН,**  
директор



**Л. А. НЕМЧИНОВА,**  
начальник научно-исследовательской  
лаборатории

нии промышленных испытаний новой технологии на Каджаранской обогатительной фабрике [1]

Арустамян Армен Михайлович,  
тел. (812) 321-57-05

Арустамян Карен Михайлович,  
тел. (812) 321-57-05

### IMPROVEMENT OF BENEFICIATION TECHNOLOGY OF COPPER-MOLIBDENUM ORES FROM KADZHARANSKOE DEPOSIT

Arustamyan A. M., Arustamyan K. M.

The results of laboratory researches, directed on improvement of technology of flotation beneficiation of copper-molibdenum ores from Kazhdaransko deposit have been presented. It is recommended to use AeroMX and Aeroflot reagents in the cycle of copper flotation with residual concentration of sodium sulphide not more than 0,07 % and at temperature of pulp as much as 25-27 °C.

**Key words:** Kadzharansko deposit, copper molybdenum ores, flotation, reagent conditions, temperature of pulp.

Приведен опыт внедрения на обогащительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК» азрационно-тепловой обработки пульпы, а также механической активации поверхности минеральных частиц с помощью оттирочного комплекса ОФК 15 РИФ в цинковом цикле технологической схемы. Указанные мероприятия позволили повысить содержание цинка в одношлотном концентрате и извлечение металла.

**Ключевые слова:** медно-цинковые сульфидные руды, сфалерит, халькопирит, пирит, азрационно-тепловая обработка, механическая активация, оттирочный комплекс.

На Учалинской обогащительной фабрике, перерабатывающей сложные медно-цинк-пиритные руды Учалинского, Узельгинского, Молодежного и Талганского месторождений, получение высококачественных концентратов затруднено в связи с тонким проращением минералов меди и сфалерита с пиритом и высокой флотационной активностью последнего. Поэтому в технологических схемах применяют тонкое доизмельчение (до 94–96 % класса –44 мкм) промпродуктов медного и цинкового циклов флотации.

Поскольку только операции доизмельчения продуктов обогащения в цинковом цикле не дают желаемого результата, одним из основных путей регулиро-

вания разделения минералов с близкими технологическими свойствами и повышения селективности обогатительных процессов (кроме использования реагентов-модификаторов) является применением физико-химических методов, к которым относятся азрационное, окислительно-тепловое кондиционирование и механическая активация.

В данной статье приведены результаты изучения механизма и закономерностей физико-химических процессов, повышающих эффективность разделения минералов при обогащении колчеданной медно-цинковой руды.

**Азрационно-тепловое кондиционирование**

В 2003 г специалистами СП ЗАО - ИВС для изучения процессов азрационно-теплого кондиционирования была создана лабораторная установка.

С целью определения оптимальной температуры при тепловом кондиционировании поставлены замкнутые опыты в цикле цинковой флотации. Крупность питания цинковой флотации составляла 92,4 % класса -44 мкм, содержание меди — 0,4 %, цинка — 12,4 %, своб СаО — 336 г/м<sup>3</sup>. Исследования проведены по схеме, представленной на рис. 1.

Как следует из данных рис. 2, максимальная температура пульпы не должна превышать 40 °С, так как ее дальнейшее повышение приводит к резкому снижению извлечения цинка.

В открытых опытах азрационному кондиционированию подвергали нагретую острым паром пульпу, которую помещали в камеру флотомашин с закры-

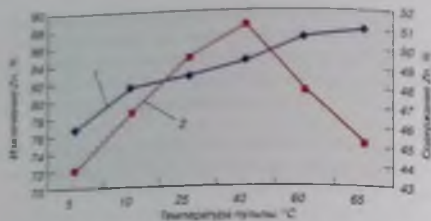


Рис. 2. Зависимость показателей цинковой флотации от температуры пульпы:

- 1 — содержание цинка в цинковом концентрате;
- 2 — извлечение цинка

тым воздушным краном, но с работающим импеллером. В ходе исследований определены оптимальные параметры азрационного кондиционирования:

- продолжительность азрации пульпы в известковой среде должна быть не менее 10 мин;
- продолжительность азрации пульпы с медным купоросом — 6–7 мин;
- эффективность азрации возрастает при использовании тонкодиспергированного воздуха (прошедшего через импеллерный блок).

Установлено, что применение азрационного кондиционирования дает возможность увеличить скорость флотации цинка в 1,28 раза и соответственно сократить фронт флотации на 25–28 %.

По результатам исследований для внедрения на II секции Учалинской ОФ рекомендован подогрев питания цинкового цикла флотации в контактных чанах острым паром до 35–40 °С.

С целью изучения ионного состава пульпы в условиях ее подогрева острым паром в фабричных условиях были отобраны пробы последовательно по операциям цинкового цикла.

Как следует из данных табл. 1, в чане № 5, в который подают острый пар и известковое молоко, происходит десорбция собирателя с поверхности минералов. Так, концентрация ксантогената в исходной пульпе составляла 0,307 г/м<sup>3</sup>, после подогрева — 0,820 г/м<sup>3</sup>. Одновременно протекают окислительные процессы (увеличивается концентрация ионов Zn и Fe). В чане № 6 (подача медного купороса) ксантогенат связывается ионами меди, и его концентрация в пульпе снижается до 0,273 г/м<sup>3</sup>.

Внедрение тепловой обработки пульпы острым паром на Учалинской ОФ позволило повысить извлечение цинка в конечный цинковый концентрат с 73,9 до

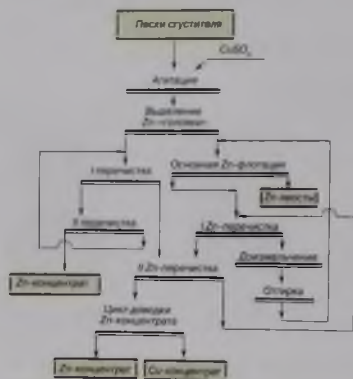


Рис. 1. Технологическая схема флотации цинкового цикла на II секции Учалинской ОФ

Таблица 1. Характеристика жидкой фазы пульпы в операциях цинковой флотации

Точка отбора пробы	Содержание, г/м <sup>3</sup>										pH	ОВП, мВ	Температура пульпы, °С
	Своб. СаО	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	S <sup>2-</sup> +HS-	КБх	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca	Mg				
Пески сульфата	196	Н. о.	0,047	0,11	0,693	0,307	1528,7	785,5	19,4	12,2	-13	15	
Контактный чан № 5	784	Н. о.	1,02	0,14	0,545	0,82	1436,1	1122,2	9,7	12,85	-46	24	
Контактный чан № 6	672	Н. о.	1,98	0,11	0,444	0,273	1527,8	1098,2	17	12,75	-33	23	
1-я камера флотомашин	532	Н. о.	1,45	0,14	0,285	Н. о.	1607,7	1050,1	Н. о.	12,7	-22	19	



78,5 %. После введения операции аэрационного кондиционирования извлечение цинка в 2004 г. по сравнению с 2003 г. повысилось на 1,54 % (до 80 %) без снижения качества цинкового концентрата (рис. 3) [1, 2].

**Механическая активация**

С целью дальнейшей интенсификации процесса флотации в цинковом цикле в лабораторных условиях было проверено влияние процесса механической оттирки продуктов цинкового цикла на конечные показатели флотации. Оттирку производили с использованием мелкой дроби в лабораторных флотомашинах. В камеру объемом 0,5 дм<sup>3</sup> вместе с флотационной пульпой загружали 350 г металлической дроби и в течение различного времени проводили механическую активацию минеральных частиц.

В табл. 2 приведены результаты открытых опытов с применением оттирки и без нее в различных точках цикла цинковой флотации. Как видно, в опытах с оттиркой по варианту 1 извлечение железа в хвосты заметно увеличивается — с 58,49 до 75,1 %. В то же время механическая активация повышает флотационную активность сфалерита [3].

Следует отметить также значительное снижение выхода цинкового концентрата и, как следствие, уменьшение извлечения в него железа.

По результатам опытов с применением оттирки в разных операциях цинкового цикла построены кривые обогатимости (рис. 4).

Согласно приведенным зависимостям, оттирка перед выделением Zn-«головки» повышает извлечение цинка (с 69 до 74 %) с увеличением содержания цинка с 30 до 32 %; оттирка перед основной Zn-флотацией снижает извлечение железа в грубый цинковый концентрат с 30 до 15 %; оттирка перед

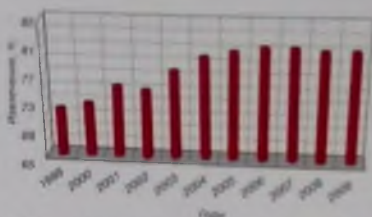


Рис. 3. Извлечение цинка в цинковый концентрат на обогатительной фабрике ОАО «Учалынский ГОК»

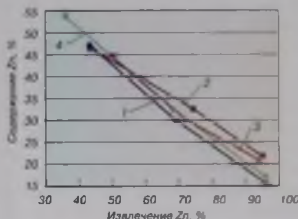


Рис. 4. Кривые обогатимости по цинку, построенные по результатам опытов с применением оттирки перед различными операциями цинкового цикла: 1 — перед оттиркой (фабричный режим); 2 — перед выделением Zn-«головки»; 3 — перед основной Zn-флотацией; 4 — перед перерешеткой Zn-«головки»

перерешеткой Zn-«головки» повышает содержание цинка с 45 до 53 %, но при более низком извлечении.

Согласно минералогическому анализу грубой Zn-«головки», выделенный по фабричному режиму сфалерит раскрыт на ~78 %. При этом основные сростки (до 16 %) сфалерита связаны с пиритом.

С целью раскрытия сростков сфалерита с пиритом в дальнейших опытах применяли доизмельчение грубой Zn-«головки» с последующей ее механической оттиркой. В табл. 3. приведены результаты замкнутых опытов по фабричному и рекомендуемому режиму с

**Таблица 2. Результаты флотационных опытов с применением оттирки**

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Zn	Fe	Zn	Fe
<i>Без применения оттирки</i>					
Zn-«головка»	17,5	29,76	21,81	68,75	10,5
Грубый Zn-конц.	30,49	6,89	36,82	27,75	30,97
Суммарный Zn-концентрат	48,0	15,23	31,34	96,5	41,5
Zn-хвосты	52,0	0,51	40,79	3,5	58,5
Исходный продукт	100	7,58	36,25	100	100
<i>С применением оттирки перед выделением Zn-«головки» и перед основной Zn-флотацией (вариант 1)</i>					
Zn-«головка»	17,55	32,77	20,0	74,6	9,8
Грубый Zn-конц.	15,77	9,92	34,47	20,29	15,12
Суммарный Zn-концентрат	33,3	21,94	26,84	94,9	24,9
Zn-хвосты	66,7	0,59	40,53	5,1	75,1
Исходный продукт	100	7,71	35,97	100	100
<i>С применением оттирки перед перерешеткой Zn-«головки» (вариант 2)</i>					
Zn-«головка»	16,6	30,25	18,95	67,3	8,4
Грубый Zn-конц.	25,57	8,29	35,5	28,48	25,78
Суммарный Zn-концентрат	42,2	16,19	29,23	95,8	34,2
Zn-хвосты	57,8	0,54	40,08	4,2	65,8
Исходный продукт	100	7,44	35,57	100	100

**Таблица 3. Результаты замкнутых опытов**

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Zn	Fe	Zn	Fe
<i>Фабричный режим</i>					
Zn-«головка»	8,09	51,47	7,28	45,0	1,8
Zn-концентрат	14,57	29,28	27,63	46,2	12,1
Zn-«головка» + Zn-концентрат	22,66	37,2	14,55	91,2	13,9
Zn-хвосты	77,34	1,05	38,68	8,8	86,1
Исходный продукт	100	9,24	33,21	100	100
<i>Применение доизмельчения и оттирки</i>					
Zn-«головка»	7,59	57,41	5,44	47,0	1,2
Zn-концентрат	12,49	33,68	20,35	46,0	7,6
Zn-«головка» + Zn-концентрат	20,08	42,9	11,08	93,0	8,8
Zn-хвосты	79,92	0,81	39,3	7,0	91,2
Исходный продукт	100	9,26	33,63	100	100

**Таблица 4. Технологические показатели флотации в цикловом цикле на Учалинской ОФ до и после внедрения ОФК-15 РИФ**

Показатели	Компоненты	До внедрения		После внедрения
		Сентябрь 2007 г.	2008 г.	2009 г.
Содержание в цинковом концентрате, % / г/т	Zn	48,21	50,2	50,61
	Ag	110,20	107,38	115,83
	Pb	12,41	11,39	10,88
Извлечение в Zn-концентрат, %	Zn	81,4	81,7	81,2

применением оттирки перед перечисткой Zn-«головки» и перед основной Zn-флотацией.

При сравнении результатов опытов видно, что доизмельчение грубой Zn-«головки» в сочетании с последующей активацией дает возможность увеличить содержание цинка до 57,4 % при извлечении 47 %.

Механическая оттирка концентрата основной Zn-флотации способствует снижению содержания железа — с 27,6 до 20,4 %, а извлечения — с 12,1 до 7,6 %.

На основании проведенных лабораторных исследований на II секции Учалинской ОФ в период с октября 2007 г. по январь 2008 г. были проведены промышленные испытания оттирочного комплекса ОФК-15 РИФ (рис. 5). Он состоит из камеры с размещенным на валу импеллером и подимпеллерным конусом. Часть объема камеры заполнена гранулами, выполненным из материала, твердость которого превышает 7 по шкале Мооса. Количество гранул и их размер выбирают в зависимости от операции флотации и размера флотируемых частиц. Нижняя часть камеры защищена от абразивного износа резиновой футеровкой.

Принцип работы ОФК-15 РИФ: при вращении импеллера создаются горизонтальные (придонные) и вертикальные потоки пульпы, обеспечивающие интенсивное перемешивание пульпы во всем объеме камеры.

Для увеличения числа соударений частиц минералов с гранулами в нижней части камеры, выполненной в виде усеченного конуса, установлены ребра, усиливающие турбулентный характер движения пульпы, интенсифицируя процесс оттирки. Вывод пульпы с очищенными частицами минерала происходит в верхней части камеры.

Оттирочный комплекс был введен в эксплуатацию в ноябре 2007 г. Питанием комплекса являлись хвосты I Zn-перечистки после их доизмельчения в шаровой мельнице. Обработанная в оттирочном комплексе пульпа поступает на основную Zn-флотацию вместе с хвостами операции выделения Zn-«головки» (см. рис. 1).

Оттирочный комплекс ОФК-15 РИФ может быть установлен непосредственно перед операциями флотации, а также на сливах гидроциклонов и раз-



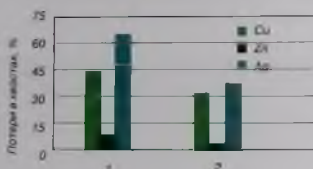
**Рис. 5. Общий вид оттирочного комплекса ОФК-15 РИФ**

грузке мельницы, без предварительного гидроциклонирования.

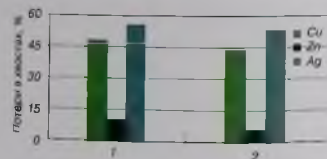
По результатам опробований Zn-цикла при переработке Cu-Zn-руд различных сочетаний можно отметить, что применение мельницы доизмельчения с последующей механической активацией минералов в оттирочном комплексе приводит к повышению операционного извлечения цинка и серебра:

- на шихте Cu-Zn-руд Учалинского и Узельгинского месторождений — на 2 и 10 % соответственно (рис. 6);
- на шихте Cu-Zn-руд Учалинского и Молодежного месторождений — на 3 и 10 % соответственно (рис. 7);
- на шихте Cu-Zn-руд Учалинского, Узельгинского и Сафьяновского месторождений — более чем на 5 % повысилось извлечение серебра (рис. 8).

Согласно минералогическому анализу, механическая активация минералов в оттирочном комплексе ОФК-15 РИФ увеличивает флотоактивность тонкого сфалерита. Так, до механоактивации при переработке шихты Cu-Zn-руд Учалинского и Узельгинского месторождений сфалерит в хвостах представлен на ~95 % свободными зёрнами, в классе крупности -10 мкм — на ~73 %, при работе оттирочного комплекса и мельницы доизмельчения доля



**Рис. 6. Относительные потери металлов с цинковыми хвостами при переработке шихты Cu-Zn-руд Учалинского и Узельгинского месторождений: 1 — при работе только оттирочного комплекса; 2 — при работе оттирочного комплекса с мельницей доизмельчения**



**Рис. 7. Относительные потери металлов с цинковыми хвостами при переработке шихты Cu-Zn-руд Учалинского и Молодежного месторождений: 1 — при работе только оттирочного комплекса; 2 — при работе оттирочного комплекса с мельницей доизмельчения**

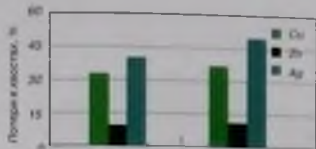


Рис. 8. Относительные потери металлов с цинковыми хвостами при переработке шихты Cu-Zn-руд Учалинского, Узельгинского и Сафьяновского месторождений:

1 — при работе только оттирочного комплекса; 2 — при работе оттирочного комплекса с мельницей доизмельчения

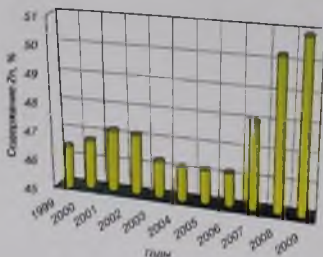


Рис. 9. Содержание цинка в Zn-концентрате

свободных зерен снижается до 75 % (в классе крупности –10 мкм — до 66 %).

Согласно технологической схеме флотации на Учалинской ОФ грубый Zn-концентрат, получаемый с применением оттирочного комплекса ОФК-15 РИФ, поступает в цикл доводки с получением цинка камерным продуктом. Повышение извлечения цинка в грубый Zn-концентрат позволило повысить содержание цинка в конечном концентрате до 50 % без снижения общего извлечения. В табл. 4 приведены показатели флотации в цинковом цикле в 2007 г. (до внедрения ОФК-15 РИФ) и в последующие годы после внедрения комплекса. Как видно, помимо улучшения показателей по цинку, повысилось содержание попутно извлекаемого серебра в цинковый концентрат и уменьшилось содержание в нем железа.

Как следует из данных, представленных на рис. 9, именно применение оттирочного комплекса ОФК-15

РИФ в 2007 г. позволило существенно повысить на Учалинской ОФ содержание цинка в Zn-концентрате — более чем на 2,5 %.

Библиографический список

- Арустамян М. А., Калинин Е. П., Хамидуллина Ф. Г. и др. О влиянии окислительной пропарки на показатели цинковой флотации // Горный журнал — 2003 — Специальный выпуск.
- Зимин А. В., Арустамян М. А., Абдрахманов И. А. и др. Совершенствование техники и технологии на обогатительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК» // Горный журнал. — 2008. — Специальный выпуск.
- Абдрахманов И. А., Ягудин Р. А., Зимин А. В. и др. Использование оттирочного комплекса ОФК-15 РИФ для повышения показателей в цинковом цикле обогатительной фабрики ОАО «Учалинский ГОК» // Горный журнал — 2008. — Специальный выпуск.

Абдрахманов Ильяс Ахметович,  
тел. (34791) 9-52-12  
Ягудин Радик Агьямович,  
тел. (34791) 9-53-47  
Зимин Алексей Владимирович,  
e-mail: unvs@rivs.ru  
Калинин Евгений Петрович,  
тел. (34791) 9-58-30  
Немчинова Лариса Анатольевна,  
тел. (34791) 9-58-89

INCREASE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ZINC CYCLE AT CONCENTRATION PLANT OF "UCHALINSKY MINING AND CONCENTRATING PLANT"

Abdrakhmanov I. A., Yagudin R. A., Zimin A. V., Kalinin E. P., Nemchinova L. A.

Experience of putting into practice the aeration-thermal processing of pulp and mechanical activation of surface of mineral particles via OFK-15 RIF - attrition complex in zinc cycle of technological scheme at beneficiation factory of "Uchalinsky Mining and Concentrating Plant" has been presented. Described events allowed to increase zinc content in zinc concentrate and increase metal extraction.

**Key words:** copper-zinc sulphide ores, zinc sulphide, chalcopyrite, pyrite, aeration thermal processing, mechanical activation, attrition complex.



УДК 622.765

Р. А. ЯГУДИН, Ю. Р. ЯГУДИНА (ОАО «Учалинский ГОК»)  
 А. В. ЗИМИН, Л. А. НЕМЧИНОВА (ЗАО «ИВС»)  
 Н. А. ЮРЛОВА (ЗАО «РИБС-проект»)

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА НА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ ОАО «УЧАЛИНСКИЙ ГОК»\*



Р. А. ЯГУДИН  
 начальник  
 обогатительной  
 фабрики



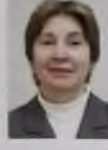
Ю. Р. ЯГУДИНА  
 начальник  
 исследовательской  
 лаборатории



А. В. ЗИМИН,  
 генеральный  
 директор,  
 канд. техн. наук



Л. А. НЕМЧИНОВА,  
 начальник научно-  
 исследовательской  
 лаборатории



Н. А. ЮРЛОВА,  
 главный специалист,  
 д-р биол. наук

*Приведены результаты лабораторных и промышленных испытаний по обогащению колчеданных медно-цинковых руд на обогатительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК» с целью повышения качества медного концентрата. Разработан эффективный режим флотации с использованием сочетания собирателей различного типа. Новая технология не ухудшает экологические показатели на предприятии.*

**Ключевые слова:** ОАО «Учалинский ГОК», медно-цинковые руды, флотационные реагенты, технологические показатели, экология, фитотоксичность.

Повышение селективности реагентных режимов при флотационном разделении минералов, обладающих близкими свойствами, в том числе входящих в состав медно-цинковых руд, основывается на:

- сочетании слабого и сильного собирателя одного класса, например, совместное использование ксантогенатов с углеводородным радикалом разной длины (изопропиловый и бутиловый), сочетании ксантогенатов и дитиофосфатов и т. д.;

- сочетании слабого и сильного собирателя разных классов (ионогенных и неионогенных), например, ксантогенатов и тионокрбаматов, дитиофосфатов и тионокрбаматов, эфиров ксантогеновых кислот, ксантогенатов и аполярных масел и др.;

- модифицировании растворов известных собирателей различными высокоактивными химическими веществами, образующими хелатные соединения с ионом металла кристаллической решетки минерала;

- сочетании сульфгидрильных собирателей и новых модификаторов, селективно подавляющих флотацию определенных минералов [1].

В 2007 г. специалисты СП ЗАО «ИВС» провели лабораторные исследования, направленные на повышение качества медного концентрата, получаемого из медных и медно-цинковых руд, перерабатываемых на обогатительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК» [2].

Рудной базой фабрики в настоящее время являются медные и медно-цинковые руды Узельгинского месторождения, медно-цинковые — Учалинского, Талганского и Молодежного месторождений. При этом в переработке фабрики доля медно-цинковых руд составляет 78–80 %, медных руд — 20–22 %.

Согласно технологической схеме фабрики медную руду Узельгинского месторождения перерабатывают на отдельной секции, медно-цинковые руды — в шихте на моносекции фабрики.

Минеральный состав шихты руд Узельгинского, Талганского, Молодежного месторождений характеризуется наличием пирита, халькопирита, сфалерита, в малом количестве присутствуют вторичные минералы меди (ковеллин и халькозин), а также силикаты и кварц (рис. 1).

Несмотря на простой минеральный состав, руда характеризуется сложными текстурно-структурными особенностями, их разнообразием, частой сменой структур на микроуровне (рис. 2). К неблагоприятным признакам, кроме текстурно-структурных особенностей, относятся: неравномерное распределение полезных минералов в руде; широкий диапазон размеров их выделения, требующий дополнительных операций доизмельчения; многообразная природа пирита, его

\* В работе принимал участие главный специалист, канд. техн. наук А. В. Елифанов (ЗАО «РИБС-проект»).

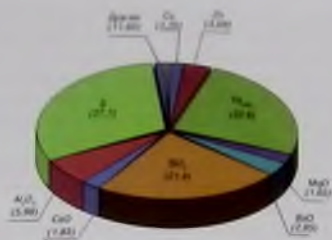


Рис. 1. Химический состав (%) шихты медно-цинковых руд

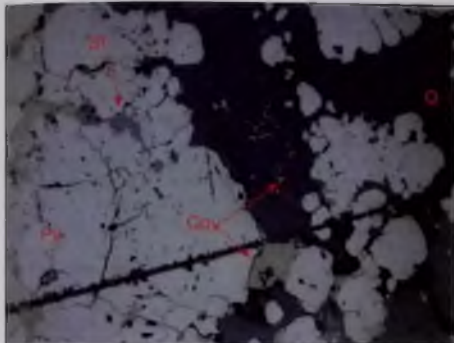


Рис. 2. Массивная и густовкрапленная текстура (Сру — халькопирит, Sf — сфалерит, Ру — пирит, Q — верудные минералы)

непостоянность, наличие тонких включений в халькопирите и сфалерите (рис. 3); частые сложные тонкие взаимные сростания сульфидов; развитие их коллоидных разновидностей, склонных к переизмельчению; эмульсионные разновидности сульфидов как причина неизбежных потерь при обогащении.

При изучении раскрываемости сульфидов было выявлено, что измельчение руд сопровождается небольшим ошламованием полезных минералов, особенно халькопирита; доля сростков халькопирита со сфалеритом достаточно невелика, что положительно сказывается при их разделении; размеры сростков халькопирита с пиритом и сфалерита с пиритом относительно большие, что является положительным фактором для их дораскрытия.

Из данных рис. 4 можно сделать вывод, что для достижения количества свободных зерен халькопирита, сфалерита и пирита на уровне 95 % требуется измельчить руду до крупности не менее 90 % класса -0,074 мм, а продукты флотации — до 80 % класса -0,044 мм.

В ходе реконструкции обогатительной фабрики ОАО «Учалинский ГОК» (с 2000 по 2007 г.) была разработана технологическая схема флотации медных и медно-цинковых руд (рис. 5), которая включает следующие циклы:

- выделение двух Си-«головок»: межцикловой — при крупности 65 % класса -0,074 мм и второй

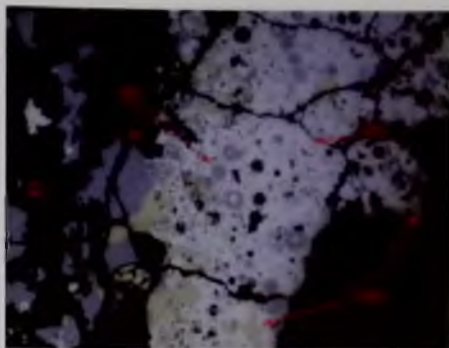


Рис. 3. Гнездовые выделения пирита и сфалерита

Си-«головок» после III стадии измельчения (77–80 % класса -0,074 мм);

- I и II коллективную медно-цинковую флотацию с получением коллективного концентрата;
- селекцию коллективного концентрата, предусматривающую основную медную и три перечистные операции, позволяющие повысить содержание меди в пенном продукте перечистки до 14–15 %.

Составной частью готового медного концентрата также является продукт цикла обезмешивания грубого цинкового концентрата, содержащего 9–12 % меди.

Разработанный технологический режим, обеспечивающий повышение содержания меди в медном концентрате, получаемом из руды Узельгинского месторождения до 20 % и из шихты медно-цинковых руд Учалинского, Узельгинского, Талганского и Молодежного месторождений — до 18,5 %, основан на использовании сочетания слабого и сильного собирателя одного класса. Рекомендуется последовательная подача собирателей: при выделении медных «головок» и в цикле селекции коллективного концентрата — водорастворимого собирателя компании

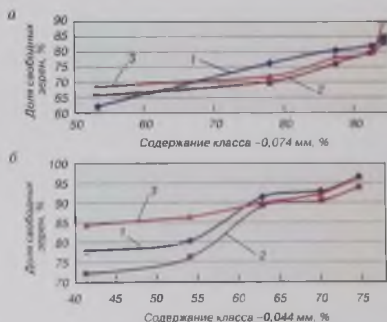


Рис. 4. Зависимость степени раскрытия минералов от содержания класса -0,074 мм (а) и -0,044 мм (б) в измельченной руде: 1 — халькопирит; 2 — пирит; 3 — сфалерит

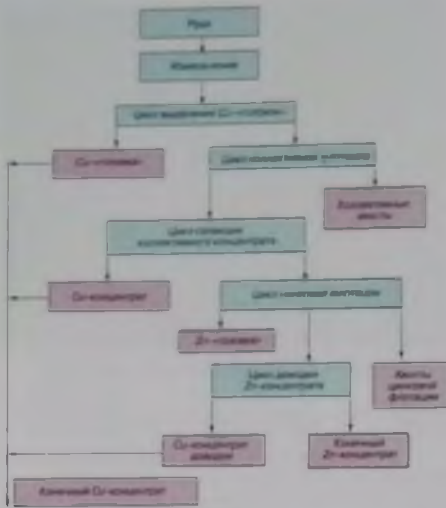


Рис. 5. Существующая схема флотации на Учалинской фабрике с использованием стандартного собирателя и пенообразователя

Сутес, в коллективной флотации — бутилового ксантогената как более сильного.

По результатам лабораторных исследований в ноябре—декабре 2008 г. проведены промышленные испытания рекомендуемой технологии при переработке Узельгинской медной руды и шихты медно-цинковых руд Учалинского, Узельгинского, Талганского и Молодежного месторождений.

Проведение промышленных испытаний по новой технологии с использованием новых для ОФ ОАО «Учалинский ГОК» реагентов совпало с ростом с ноября 2008 г. объема переработки руды на 6,5 %. Последнее привело к снижению содержания класса -0,074 мм в измельченной медно-цинковой руде с 85 до 80–77 %, в медной руде — с 74,6 до 66 %.

Использование новых селективных реагентов при переработке медных и медно-цинковых руд привело к снижению расхода бутилового ксантогената,  $ZnSO_4$  и  $CuSO_4$ . При расходе Aeorphine 17,9 г/т расход ксантогената сократился на 31 г/т, или на 16,7 %, при расходе депрессора 28 г/т расход  $ZnSO_4$  сократился на 129 г/т, или на 30 % (табл. 1).

Снижение расхода флотореагентов оказывает влияние не только на экономические, но и на экологические показатели. На

основании данных экологического мониторинга, проводимого аккредитованной химической лабораторией комбината, проанализировано изменение концентрации ксантогената в хвостохранилище и технологическом пруде на р. Бюйды. Установлено, что концентрация ксантогената в воде уменьшилась по сравнению с 2002–2004 гг. почти в 2 раза (рис. 6 и 7).

В воде хвостохранилища и технологического пруда в течение 2009 г. концентрация ксантогената не увеличивалась.

Поскольку вода из технологического пруда в некоторые периоды сбрасывается в р. Бюйды, относящейся к рыбохозяйственному водотоку второй категории водопользования, то снижение концентрации флотореагентов в технологической воде, поступающей в хвостохранилище, а затем в технологический пруд (рис. 8), оказывает существенное влияние на оздоровление экологической обстановки района.

Применение разработанной технологии в условиях увеличенного объема переработки руды позволило не только сохранить содержание меди в медном концентрате, но и повысить его в целом по фабрике до 19,34 %, в том числе из шихты медно-цинковых руд Учалинского, Узельгинского, Талганского и Молодежного месторождений — до 19 %, из медной руды Узельгинского месторождения — до 20 % (рис. 9).

Извлечение меди из медно-цинковых руд при повышении качества концентрата осталось на прежнем уровне — 85,25 % (при достигнутом за 10 мес. 2008 г. 85,93 %).

Качество цинкового концентрата также сохранено на прежнем уровне — 50,55 % (при плане 50 %) с плановым извлечением 81 %.

Извлечение меди из медной руды Узельгинского месторождения при повышении качества концентрата с 18,44 до 20 % также сохранилось на достигнутом уровне — 93,6 % (при достигнутом за 10 мес. 2008 г. 93,67 %) (рис. 10).

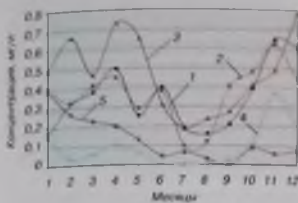
На основании положительных результатов промышленных испытаний новой технологии переработки медных и медно-цинковых руд рекомендуется постоянная подача водорастворимого собирателя фирмы Сутес при флотации медных «головок» и в цикл селекции.

Таблица 1. Реагентные режимы флотаций руд на ОФ ОАО «Учалинский ГОК»

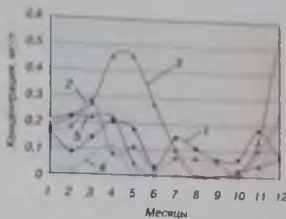
Показатели	Реагентный режим		
	Лабораторный	Промышленный	Стандартный (фабричный)
Содержание класса -0,074 мм в сливе гидроциклонов III стадии измельчения, %	74,7/85–90	66/77–80	60/77–80
Расход реагентов, г/т:			
Aeorphine	57/90	7/17,9	—/—
пенообразователь Сутес	5/10	1/2	—/—
бутиловый ксантогенат	100/200–275	51/154	58/185
депрессор Сутес	—/25–50	—/28	—/—
$ZnSO_4$	—/300–700	—/254	—/423
$CuSO_4$	—/400	—/241	—/377
NaHS	—/400	—/351	—/322

Примечание. В колонке — Сы-руда Узельгинского месторождения, в знаменателе — шихта Cu-Zn-руд Учалинского и Узельгинского месторождений.

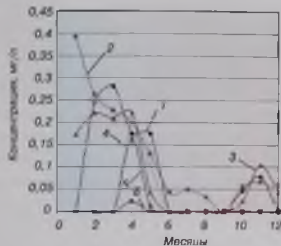




**Рис. 6. Концентрация ксантогената в хвостохранилище по годам:**  
1 — 2002; 2 — 2003; 3 — 2004;  
4 — 2008; 5 — 2009



**Рис. 7. Концентрация ксантогената в технологическом пруде на р. Бюиды по годам:**  
1 — 2002; 2 — 2003; 3 — 2004;  
4 — 2008; 5 — 2009



**Рис. 8. Концентрация ксантогената в водных объектах (2009 г.):**

1 — «выпуск» 1; 2 — хвостохранилище; 3 — технологический пруд; 4 — р. Бюиды ниже «выпуска» 1; 5 — р. Бюиды ниже «выпуска» 2; 6 — р. Кидыш ниже впадения р. Бюиды

Согласно промежуточному акту промышленных испытаний, при достигнутом повышении качества медного концентрата до 18,5 % (без учета сокращения затрат в металлургическом переделе) экономический эффект составил 7 млн руб. в год.

Одно из дальнейших направлений поиска новых эффективных реагентных режимов флотации сульфидных минералов основано на использовании сочетания собирателей с углеводородной цепочкой разной длины. Например, сочетание ионогенных сульфидрильных собирателей (ксантогенатов, дитиофосфатов) и неионогенных (сложных тиоэфиров, дисульфидов). Данное сочетание реагентов — сульфидрильного собирателя (бутилового ксантогената) и собирателя AERO (тионокарбамата) было использовано при флотации шихты медно-цинковых руд, включающей руды верхнего яруса Узельгинского месторождения, отличающихся от руд нижних горизонтов наличием труднофлотируемых блеклых руд и повышенным

содержанием свинца. По разработанной технологической схеме с новым реагентным режимом из руды, содержащей 1,2 % меди, 3,9 % цинка, получен медный концентрат, содержащий 19,2 % меди при извлечении 80,9 %. Содержание цинка в цинковом концентрате составило 50,1 % при извлечении 79,2 %. [3]

Разработанная технология обогащения медно-цинковых руд не привела к изменению токсичности отвальных хвостов обогащения. Состав отходов имеет важное значение после снижения техногенной нагрузки. Именно твердые отходы, почва, загрязненная этими отходами, становятся основными источниками загрязнения водоемов за счет длительного процесса вымывания из них несвязанных загрязняющих веществ, в первую очередь тяжелых металлов.

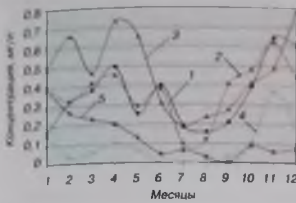
Для количественного анализа процессов восстановления растительного покрова в зоне влияния медно-никелевых и медных производств рекомендуется использовать критерий фитотоксичности почв (КФП), соотношение суммы концентрации кальция и магния и концентрации тяжелых металлов (в подзолистой почве) [4]. Для определения фитотоксичности отвальных хвостов обогащения текущей переработки и отвальных хвостов обогащения руды Узельгинского месторождения (верхний ярус) с использованием современных флотационных реагентов в ОАО «Учалинский ГОК» был выполнен их количественный химический анализ. Результаты расчета соотношений  $(Ca + Mg)/Cu$  и  $(Ca + Mg)/Ni$  в проанализированных хвостах сопоставляли со шкалой оценки степени токсичности подзолистых почв [4] (табл. 2). В нетоксичной для растений подзолистой почве соотношение  $(Ca + Mg)/Cu$  находится в диапазоне 30–180, а соотношение  $(Ca + Mg)/Ni$  — 20–90 и выше [4].

Как следует из данных табл. 2, отвальные хвосты обогащения шихты руд, включающей руды верхнего яруса Узельгинского месторождения, по разработанной технологии с использованием современных флотационных реагентов являются нетоксичными по содержанию меди (то же самое можно сказать и по

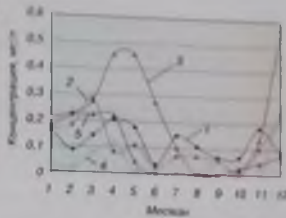
**Таблица 2. Степень фитотоксичности хвостов обогащения**

Наименование хвостов обогащения	$(Ca + Mg) / Cu^*$	$(Ca + Mg) / Ni^*$	Примечание
Отвальные хвосты обогащения текущей переработки ОАО «Учалинский ГОК»	7,84	243	Сильнотоксичные по содержанию меди; нетоксичные по содержанию никеля
Отвальные хвосты обогащения руды Узельгинского месторождения (верхний ярус) с использованием современных флотационных реагентов	31,6	526,6	Нетоксичные по содержанию меди, нетоксичные по содержанию никеля

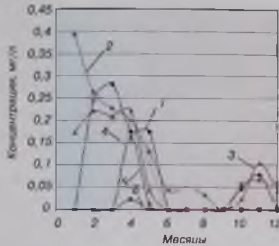
\*  $(Ca + Mg) / Cu$  — соотношение суммы концентраций кальция и магния и концентрации меди или никеля.



**Рис. 6. Концентрация ксантогената в хвостохранилище по годам:**  
1 — 2002; 2 — 2003; 3 — 2004;  
4 — 2008; 5 — 2009



**Рис. 7. Концентрация ксантогената в технологическом пруде на р. Бюиды по годам:**  
1 — 2002; 2 — 2003; 3 — 2004;  
4 — 2008; 5 — 2009



**Рис. 8. Концентрация ксантогената в водных объектах (2009 г.):**

1 — «выпуск» 1; 2 — хвостохранилище; 3 — технологический пруд; 4 — р. Бюиды ниже «выпуска» 1; 5 — р. Бюиды ниже «выпуска» 2; 6 — р. Кидыш ниже впадения р. Бюиды

Согласно промежуточному акту промышленных испытаний, при достигнутом повышении качества медного концентрата до 18,5 % (без учета сокращения затрат в металлургическом переделе) экономический эффект составил 7 млн руб. в год.

Одно из дальнейших направлений поиска новых эффективных реагентных режимов флотации сульфидных минералов основано на использовании сочетания собирателей с углеводородной цепочкой разной длины. Например, сочетание ионогенных сульфидрильных собирателей (ксантогенатов, дитиофосфатов) и неионогенных (сложных тиоэфиров, дисульфидов). Данное сочетание реагентов — сульфидрильного собирателя (бутилового ксантогената) и собирателя АЕРО (тионокарбамата) было использовано при флотации шихты медно-цинковых руд, включающей руды верхнего яруса Узельгинского месторождения, отличающихся от руд нижних горизонтов наличием труднофлотируемых блеклых руд и повышенным

содержанием глиниста. По разработанной технологической схеме с новым реагентным режимом из руды, содержащей 1,2 % меди, 3,9 % цинка, получен медный концентрат, содержащий 19,2 % меди при извлечении 80,9 %. Содержание цинка в цинковом концентрате составило 50,1 % при извлечении 79,2 % [3].

Разработанная технология обогащения медно-цинковых руд не привела к изменению токсичности отвальных хвостов обогащения. Состав отходов имеет важное значение после снижения техногенной нагрузки. Именно твердые отходы, почва, загрязненная этими отходами, становятся основными источниками загрязнения водоемов за счет длительного процесса вымывания из них несвязанных загрязняющих веществ, в первую очередь тяжелых металлов.

Для количественного анализа процессов восстановления растительного покрова в зоне влияния медно-никелевых и медных производств рекомендуется использовать критерий фитотоксичности почв (КФП). соотношение суммы концентраций кальция и магния и концентрации тяжелых металлов (в подзолистой почве) [4]. Для определения фитотоксичности отвальных хвостов обогащения текущей переработки и отвальных хвостов обогащения руды Узельгинского месторождения (верхний ярус) с использованием современных флотационных реагентов в ОАО «Учалинский ГОК» был выполнен их количественный химический анализ. Результаты расчета соотношений  $(Ca + Mg)/Cu$  и  $(Ca + Mg)/Ni$  в проанализированных хвостах сопоставляли со шкалой оценки степени токсичности подзолистых почв [4] (табл. 2). В нетоксичной для растений подзолистой почве соотношение  $(Ca + Mg)/Cu$  находится в диапазоне 30–180, а соотношение  $(Ca + Mg) / Ni$  — 20–90 и выше [4].

Как следует из данных табл. 2, отвальные хвосты обогащения шихты руд, включающей руды верхнего яруса Узельгинского месторождения, по разработанной технологии с использованием современных флотационных реагентов являются нетоксичными по содержанию меди (то же самое можно сказать и по

**Таблица 2. Степень фитотоксичности хвостов обогащения**

Наименование хвостов обогащения	$(Ca + Mg) / Cu^*$	$(Ca + Mg) / Ni^*$	Примечание
Отвальные хвосты обогащения текущей переработки ОАО «Учалинский ГОК»	7,84	243	Сильнотоксичные по содержанию меди; нетоксичные по содержанию никеля
Отвальные хвосты обогащения руды Узельгинского месторождения (верхний ярус) с использованием современных флотационных реагентов	31,6	526,6	Нетоксичные по содержанию меди; нетоксичные по содержанию никеля

\*  $(Ca + Mg) / Cu$  — соотношение суммы концентраций кальция и магния и концентрации меди или никеля

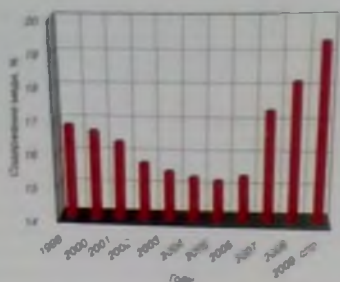


Рис. 9. Содержание меди в медном концентрате на ОФ ОАО «Учалинский ГОК» по годам

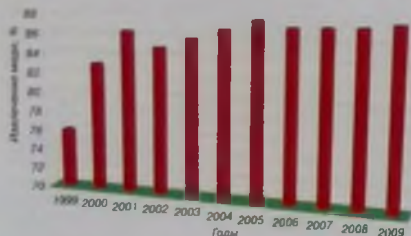


Рис. 10. Извлечение меди в медный концентрат на ОФ ОАО «Учалинский ГОК» по годам

содержанию цинка). В то же время отвалы хвосты обогащения текущей переработки ОАО «Учалинский ГОК» по содержанию меди являются сильнотоксичными. Таким образом, разработанная технология не только повышает качество медного концентрата без снижения извлечения основных полезных компонентов, но и уменьшает фитотоксичность хвостов обогащения.

Расчетным методом [5] был определен один и тот же класс опасности как для отвальных хвостов обогащения текущей переработки ОАО «Учалинский ГОК», так и для отвальных хвостов обогащения шихты руд (включающей руды верхнего яруса Узельгинского месторождения) с использованием современных флотационных реагентов. Класс опасности отходов определяет нормативную плату за размещение отходов производства. Для предприятий горнодобывающей отрасли плата за размещение отходов производства (именно хвосты обогащения являются основными отходами как по объему, так и по оплате за их размещение) составляет существенную статью расходов [6].

В настоящее время технологические исследования по совершенствованию технологии переработки медно-цинковых руд данного типа продолжены. С вводом новой, IV флотационной секции в октябре 2010 г.

на обогатительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК» планируется проведение промышленных испытаний рекомендуемого технологического режима.

*Библиографический список*

1. Игнаткина В. А., Бочаров В. А., Пунцова Б. Т. Применение композиций модифицированных собирателей для снижения флотиремости пирита при флотации сульфидных руд — Изд-во ИГД СО РАН, 2009.
2. Ягудин Р. А., Ягудина Ю. Р., Зимин А. В. и др. Совершенствование технологии флотации руд на обогатительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК» // Горный журнал. — 2008 — Специальный выпуск.
3. Игнаткина В. А., Бочаров В. А. К механизму взаимодействия сочетаний ионогенных и неионогенных собирателей с поверхностью сульфидных и несulfидных минералов. — Изд-во ИГД СО РАН, 2009.
4. Евдокимова Г. А. Эколого-микробиологические основы охраны почв Крайнего Севера. — Изд-во КНЦ РАН, 1995.
5. Приказ МНР РФ от 15 июня 2001 г. № 511 «Об утверждении критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды».
6. Постановление Правительства РФ от 12 июня 2003 г. № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления» (с изменениями от 1 июля 2005 г.)

Ягудин Радик Аглымович,  
тел.: (34791) 9-53-47

Ягудина Юлия Радиковна,  
Зимин Алексей Владимирович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

Немчинова Лариса Анатольевна,  
e-mail: l.nemchinova@mail.ru

Юрлова Надежда Александровна,  
тел.: (812) 321-57-05

**IMPROVEMENT OF QUALITY OF COPPER CONCENTRATE AT "UCHALINSKY MINING AND CONCENTRATING PLANT"**

Yagudin R. A., Yagudina Yu. R., Zimin A. V., Nemchinova L. A., Yurlova N. A.

The results of laboratorial and industrial tests of concentration of pyrite copper-zinc ores at beneficiation factory of "Uchalinsky Mining and Concentrating Plant" in order to improve quality of copper concentrate are presented. Effective flotation conditions using combination of different types of collectors was developed. The new technology does not deteriorate ecological parameters at production facilities.

*Key words:* "Uchalinsky Mining and Concentration Plant", copper-zinc ores, flotation reagents, technological parameters, ecology.



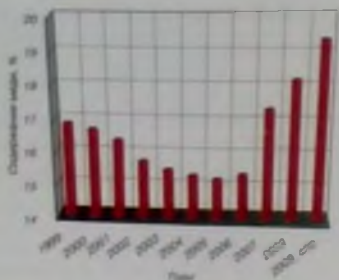


Рис. 9. Содержание меди в медном концентрате на ОФ ОАО «Учалинский ГОК» по годам

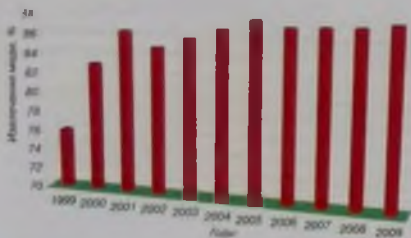


Рис. 10. Извлечение меди в медный концентрат на ОФ ОАО «Учалинский ГОК» по годам

содержанию цинка). В то же время отвальные хвосты обогащения текущей переработки ОАО «Учалинский ГОК» по содержанию меди являются сильнотоксичными. Таким образом, разработанная технология не только повышает качество медного концентрата без снижения извлечения основных полезных компонентов, но и уменьшает фитотоксичность хвостов обогащения.

Расчетным методом [5] был определен один и тот же класс опасности как для отвальных хвостов обогащения текущей переработки ОАО «Учалинский ГОК», так и для отвальных хвостов обогащения шихты руд (включаящей руды верхнего яруса Узельгинского месторождения) с использованием современных флотационных реагентов. Класс опасности отходов определяет нормативную плату за размещение отходов производства. Для предприятий горнодобывающей отрасли плата за размещение отходов производства (именно хвосты обогащения являются основными отходами как по объему, так и по оплате за их размещение) составляет существенную статью расходов [6].

В настоящее время технологические исследования по совершенствованию технологии переработки медно-цинковых руд данного типа продолжены. С вводом новой, IV флотационной секции в октябре 2010 г.

на обогатительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК» планируется проведение промышленных испытаний рекомендуемого технологического режима.

*Библиографический список*

1. Игнаткина В. А., Бочаров В. А., Пунцова Б. Т. Применение композиций модифицированных собирателей для снижения флотиремости пирита при флотации сульфидных руд. — Изд-во ИГД СО РАН, 2009.
2. Ягудин Р. А., Ягудина Ю. Р., Зимин А. В. и др. Совершенствование технологии флотации руд на обогатительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК». // Горный журнал. — 2008 — Специальный выпуск.
3. Игнаткина В. А., Бочаров В. А. К механизму взаимодействия сочетаний ионогенных и неионогенных собирателей с поверхностью сульфидных и несulfидных минералов. — Изд-во ИГД СО РАН, 2009.
4. Евдокимова Г. А. Эколого-микробиологические основы охраны почв Крайнего Севера. — Изд-во КНЦ РАН, 1995.
5. Приказ МНР РФ от 15 июня 2001 г. № 511 «Об утверждении критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды».
6. Постановление Правительства РФ от 12 июня 2003 г. № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления» (с изменениями от 1 июля 2005 г.) □

Ягудин Радик Агьямович,  
тел.: (34791) 9-53-47

Ягудина Юлия Радиковна,  
Зимин Алексей Владимирович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

Немчинова Лариса Анатольевна,  
e-mail: l.nemchinova@mail.ru

Юрлова Надежда Александровна,  
тел.: (812) 321-57-05

**IMPROVEMENT OF QUALITY OF COPPER CONCENTRATE AT "UCHALINSKY MINING AND CONCENTRATING PLANT"**

Yagudin R. A., Yagudina Yu. R., Zimin A. V., Nemchinova L. A., Yurlova N. A.

The results of laboratorial and industrial tests of concentration of pyrite copper-zinc ores at beneficiation factory of "Uchalinsky Mining and Concentrating Plant" in order to improve quality of copper concentrate are presented. Effective flotation conditions using combination of different types of collectors was developed. The new technology does not deteriorate ecological parameters at production facilities.

**Key words:** "Uchalinsky Mining and Concentration Plant", copper-zinc ores, flotation reagents, technological parameters, ecology.

УДК 622.765

А. В. ЗИМИН, О. И. СКАРИН (ЗАО -НПО -РИБС-)  
 Л. А. НЕМЧИНОВА, М. И. ТКАЧЕНКО (ЗАО -НПО -РИБС-, Уральское производственное)  
 Р. А. ЯГУДИН (ОАО -Учалинский ГОК-)

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БОГАЩЕНИЯ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ РУД С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОТМЫВКОЙ КЛАССА –5 мм



А. В. ЗИМИН,  
генеральный директор,  
канд. техн. наук



О. И. СКАРИН,  
ведущий специалист,  
канд. техн. наук



Л. А. НЕМЧИНОВА,  
начальник научно-  
исследовательской  
лаборатории



М. И. ТКАЧЕНКО,  
старший научный  
сотрудник



Р. А. ЯГУДИН,  
начальник обогатительной  
фабрики

*Разработана технология переработки шихты медно-цинковых руд на ОП ОАО «Учалинский ГОК» с применением отмывки класса –5 мм из крупнодробленной руды, позволяющая не только устранить налипания шламов на стенках бункеров, дробилок, на поверхности сит грохотов, но и повысить технологические показатели флотации.*

**Ключевые слова:** ОАО «Учалинский ГОК», медно-цинковые руды, шламы, отмывка, флотация, реагенты, извлечение.

Обогатительная фабрика ОАО «Учалинский ГОК» перерабатывает труднообогатимые медно-цинковые руды Учалинского, Узельгинского, Талганского, Молодежного месторождений. Главными минералами перерабатываемых руд являются пирит, халькопирит и сфалерит, второстепенными — пирротин, борнит, энаргит, галенит, магнетит, гематит, халькозин, арсенопирит. Нерудные минералы представлены слоистыми силикатами — преимущественно тонкодисперсным серицитом, калиевыми гидрослюдами, хлоритом, а также кварцем, редко — карбонатами.

При увеличении доли руд подземной добычи усложняются условия работы дробильно-измельчительного передела: происходит налипания шламистых фракций на внутренних стенках бункеров, дробилок, на поверхности сит грохотов, повышается расход реагентов при флотации, снижаются технологические показатели обогащения. Это явилось основанием для проведения технологических исследований, направленных на устранение вредного влияния шламов пустой породы.

Исследования были проведены в лаборатории Уральского представительства СП ЗАО «ИВС» на смеси пробы шихты Cu-Zn-руд Узельгинского, Талганского,

Молодежного месторождений и пробы Cu-Zn-руды Учалинского месторождения, составленной в соотношении, соответствующем условиям работы обогатительной фабрики. Содержание меди в пробе составляло 1,53, цинка — 3,77, серы — 30 %.

Подготовку пробы к исследованиям осуществляли следующим образом: усредненную шихту руд Узельгинского, Талганского, Молодежного месторождений и отдельно пробу руды Учалинского месторождения отмывали по зерну 5 мм, затем — по зерну 3 мм и додразмывали. Затем составляли общую шихту руд. Лабораторные исследования проводили отдельно на отмытом материале крупностью +5 мм и материале крупностью –5 мм.

После измельчения пробы крупностью –5 мм до 93 % класса –0,071 мм доля свободных зерен халькопирита составила 87 %, пирита — 99, сфалерита — 82.

По данным ситового анализа, в пробе крупностью –5 мм распределение металлов было следующее, %: в классе +3 мм: Cu — 17,3; Zn — 16,6; в классе –0,630+0,315 мм: Cu — 13,1; Zn — 12,6; в классе –0,044 мм: Cu — 20,5; Zn — 18,1. Это свидетельствует о необходимости применения стадийного измельчения и поэтапного выделения минералов меди и цинка.

Наибольшее количество алюмосиликатов и кремнезема сосредоточено в классе –0,044 мм: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 44,6; SiO<sub>2</sub> — 30,2; CaO — 29,9 %. Очевидно, что значительное содержание пустой породы в тонком классе (шламов) осложняет флотацию полезных минералов.

При выборе схемы переработки материала крупностью +5 и –5 мм за основу была принята существующая технология переработки Cu-Zn-руд на обогатительной фабрике с последующим уточнением технологического режима — рецептуры и расхода флотационных реагентов, продолжительности кондиционирования пульпы и т. д.

УДК 622 765

А. В. ЗИМИН, О. И. СКАРИН (ЗАО «НПО «РИВС»)  
 Л. А. НЕМЧИНОВА, М. И. ТКАЧЕНКО (ЗАО «НПО «РИВС», Узельское представительство)  
 Р. А. ЯГУДИН (ОАО «Учалинский ГОК»)

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БОГАЩЕНИЯ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ РУД С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОТМЫВКОЙ КЛАССА –5 мм



А. В. ЗИМИН,  
 генеральный директор,  
 канд. техн. наук



О. И. СКАРИН,  
 ведущий специалист,  
 канд. техн. наук



Л. А. НЕМЧИНОВА,  
 начальник научно-  
 исследовательской  
 лаборатории



М. И. ТКАЧЕНКО,  
 старший научный  
 сотрудник



Р. А. ЯГУДИН,  
 начальник обогатительной  
 фабрики

*Разработана технология переработки шихты медно-цинковых руд на ОФ ОАО «Учалинский ГОК» с применением отмывки класса –5 мм из крупнодробленной руды, позволяющая не только устранить налипания шламов на стенках бункеров, дробилок, на поверхности сит грохотов, но и повысить технологические показатели флотации.*

**Ключевые слова:** ОАО «Учалинский ГОК», медно-цинковые руды, шламы, отмывки, флотация, реагенты, извлечение.

Обогатительная фабрика ОАО «Учалинский ГОК» перерабатывает труднообогатимые медно-цинковые руды Учалинского, Узельгинского, Талганского, Молодежного месторождений. Главными минералами перерабатываемых руд являются пирит, халькопирит и сфалерит, второстепенными — пирротин, борнит, энаргит, галенит, магнетит, гематит, халькозин, арсенопирит. Нерудные минералы представлены слоями силикатов — преимущественно тонкодисперсным серицитом, калиевыми гидрослюдами, хлоритом, а также кварцем, редко — карбонатами.

При увеличении доли руд подземной добычи усложняются условия работы дробильно-измельчительного передела: происходит налипание шламистых фракций на внутренних стенках бункеров, дробилок, на поверхности сит грохотов, повышается расход реагентов при флотации, снижаются технологические показатели обогащения. Это явилось основанием для проведения технологических исследований, направленных на устранение вредного влияния шламов пустой породы.

Исследования были проведены в лаборатории Уральского представительства СП ЗАО «ИВС» на смеси пробы шихты Cu-Zn-руд Узельгинского, Талганского,

Молодежного месторождений и пробы Cu-Zn-руды Учалинского месторождения, составленной в соотношении, соответствующем условиям работы обогатительной фабрики. Содержание меди в пробе составляло 1,53, цинка — 3,77, серы — 30 %.

Подготовку пробы к исследованиям осуществляли следующим образом: усредненную шихту руд Узельгинского, Талганского, Молодежного месторождений и отдельно пробу руды Учалинского месторождения отмывали по зерну 5 мм, затем — по зерну 3 мм и додрабливали. Затем составляли общую шихту руд. Лабораторные исследования проводили отдельно на отмытом материале крупностью +5 мм и материале крупностью –5 мм.

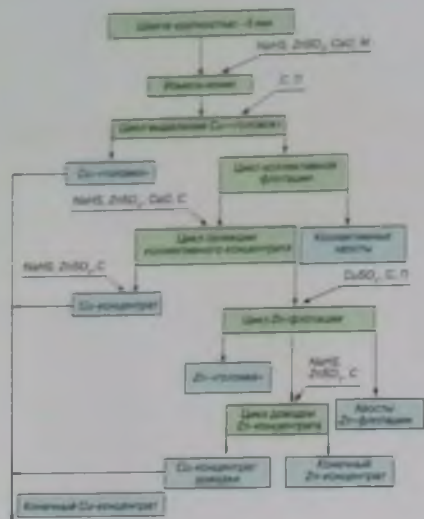
После измельчения пробы крупностью –5 мм до 93 % класса –0,071 мм доля свободных зерен халькопирита составила 87 %, пирита — 99, сфалерита — 82.

По данным ситового анализа, в пробе крупностью –5 мм распределение металлов было следующее, %: в классе +3 мм: Cu — 17,3; Zn — 16,6; в классе –0,630+0,315 мм: Cu — 13,1; Zn — 12,6; в классе –0,044 мм: Cu — 20,5; Zn — 18,1. Это свидетельствует о необходимости применения стадийного измельчения и поэтапного выделения минералов меди и цинка.

Наибольшее количество алюмосиликатов и кремнезема сосредоточено в классе –0,044 мм: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 44,6; SiO<sub>2</sub> — 30,2; CaO — 29,9 %. Очевидно, что значительное содержание пустой породы в тонком классе (шламов) осложняет флотацию полезных минералов.

При выборе схемы переработки материала крупностью +5 и –5 мм за основу была принята существующая технология переработки Cu-Zn-руд на обогатительной фабрике с последующим уточнением технологического режима — рецептуры и расхода флотационных реагентов, продолжительности кондиционирования пульпы и т. д.





**Рис. 1. Технологическая схема флотации шихты медно-цинковых руд крупностью -5 мм (М — модификаторы; С — собиратель; П — пенообразователь)**

Схема проведения флотационного обогащения шихты крупностью -5 мм представлена на рис. 1.

Для устранения отрицательного влияния шламов в измельчение перед выделением Си-«головки» загружали пептизатор фирмы Sytek. В операции флотации Си-«головки» с целью повышения эффективности выделения халькопирита использовали новый реагент депрессор пирита, а также сочетание бутилового ксантогената и реагента Aerofloat 1. В медном цикле в основной Си-флотации использовали Aerophine, в цинковом цикле — сочетание бутилового ксантогената и Aerofloat 2.

**Таблица 1. Технологические показатели флотации шихты руд крупностью -5 мм**

Наименование продуктов	Содержание, %		Извлечение, %	
	Cu	Zn	Cu	Zn
Си-«головка»	21,07	4,13	56,11	3,88
Си-концентрат	16,2	3,25	28,89	2,11
Суммарный Си-концентрат	19,45	3,77	85,01	5,99
Zn-«головка»-1	0,42	18,93	1,17	49,97
Zn-«головка»-2	0,83	52,16	0,77	17,66
Суммарная Zn-«головка»	0,52	49,73	1,94	67,63
Zn-концентрат	1,54	33,25	2,04	16,03
Суммарный Zn-концентрат	0,78	45,42	3,98	83,67
Хвосты Zn-флотации	0,36	1,2	3,43	4,14
Коллективные хвосты	0,17	0,39	7,58	6,2
Руда	1,59	4,37	100,0	100,0

Результаты опытов в замкнутом цикле на оборотной воде приведены в табл. 1

Следующим этапом явились лабораторные исследования, проведенные на отмытой шихте Cu-Zn-руд крупностью +5 мм с применением оборотной воды.

Реагентный режим флотации отмытой шихты был принят аналогичным режиму флотации шихты крупностью -5 мм. Однако пептизатор Syquest 3223 был исключен, так как данный материал не содержит большого количества шламов. Результаты замкнутого опыта приведены в табл. 2.

В табл. 3 приведены суммарные показатели флотации шихты крупностью -5 и +5 мм.

С целью оценки полученных результатов был проведен замкнутый опыт в условиях фабричного режима\* по стадийной коллективно-селективной схеме с выводом медных и цинковых «головок». Разделение грубого цинкового концентрата не проводили. В табл. 4 приведены результаты опыта.

Из данных табл. 3 и 4 следует, что по разработанной технологической схеме по сравнению с фабричной содержание меди в медном концентрате увеличилось на 4,65 % при практически равном извлечении. Извлечение в цинковый концентрат одинакового качества возросло на 1,35 %.

**Таблица 2. Технологические показатели флотации шихты руд крупностью +5 мм**

Наименование продуктов	Содержание, %		Извлечение, %	
	Cu	Zn	Cu	Zn
Си-«головка»	25,39	2,43	53,63	2,24
Си-концентрат	20,16	3,15	30,14	2,06
Суммарный Си-концентрат	23,22	2,73	83,77	4,3
Zn-«головка»-1	0,63	51,91	1,37	49,61
Zn-«головка»-2	1,17	48,16	0,88	15,77
Суммарная Zn-«головка»	0,77	50,95	2,25	65,38
Zn-концентрат	1,57	30,6	2,08	17,71
Суммарный Zn-концентрат	1,02	44,63	4,33	83,09
Хвосты Zn-флотации	0,46	1,2	5,25	5,99
Коллективные хвосты	0,14	0,33	6,65	6,62
Руда	1,53	3,5	100,0	100,0

**Таблица 3. Суммарные технологические показатели флотации шихты руд (см. табл. 1 и 2)**

Наименование продуктов	Содержание, %		Извлечение, %	
	Cu	Zn	Cu	Zn
Си-«головка»	24,69	2,75	53,96	2,45
Си-концентрат	19,43	3,17	29,96	1,99
Суммарный Си-концентрат	22,52	2,92	83,92	4,44
Zn-«головка»-1	0,59	51,32	1,34	47,7
Zn-«головка»-2	1,12	48,77	1,09	19,42
Суммарная Zn-«головка»	0,75	50,56	2,43	67,12
Zn-концентрат	1,57	31,03	2,07	16,70
Суммарный Zn-концентрат	0,98	44,92	4,5	83,82
Хвосты Zn-флотации	0,45	1,2	4,96	5,43
Коллективные хвосты	0,14	0,34	6,62	6,32
Руда	1,53	3,77	100,0	100,0

\* Ягудин Р. А., Ягудина Ю. Р., Зимин А. В. и др. Совершенствование технологии флотации руд на обогатительной фабрике ОАО «Учалинский ГОК» // Горный журнал — 2008 — Специальный выпуск

Таблица 4. Технические показатели флотации шихты руд в условиях фабричного режима

Наименование продуктов	Содержание, %		Извлечение, %	
	Cu	Zn	Cu	Zn
Cu-головка-1	20,0	4,3	31,79	2,46
Cu-головка-2	18,8	4,2	26,81	2,15
Cu-концентрат	15	3,8	24,68	2,24
Суммарный Cu-концентрат	17,87	4,09	83,28	6,85
Zn-головка-1	0,51	48,55	1,12	38,15
Zn-головка-2	0,86	51,2	1,45	31,09
Суммарная Zn-головка	0,66	50,56	2,57	69,24
Zn-концентрат	1,53	28,5	1,98	13,23
Суммарный Zn-концентрат	0,88	44,41	4,55	82,47
Хвосты Zn-флотации	0,36	1,2	4,95	5,93
Коллективные хвосты	0,18	0,33	7,22	4,75
Руда	1,53	4,37	100,0	100,0

На основании результатов лабораторных исследований было рассчитано оборудование узла отмывки руды на обогатительной фабрике.

С учетом опыта длительной эксплуатации узлов отмывки медно-никелевых руд на Норильской, медных и медно-цинковых руд на Риддерской и Зырановской ОФ (Казахстан) рассмотрено несколько вариантов аппаратно-технологических схем с применением следующих операций и оборудования:

- отмывка крупнодробленой руды на инерционных грохоте;
- последовательная классификация мелкозернистых фракций в спиральных классификаторах и гидроциклонах;
- измельчение фракций избыточной крупности в шаровых мельницах;
- аккумулярующие емкости — сгустители, бункеры.

Качественно-количественная оценка возможных вариантов удаления тонких классов (шламов) осуществлена по результатам ситовых анализов крупнодробленой шихты руд Узельгинского, Талганского и Молодежного месторождений и руды Учалинского месторождения. При этом установлено, что крупнодробленая шихта и руды текущей добычи имеют практически одинаковый гранулометрический состав, в том числе по содержанию классов +25, -25+5 и -5 мм.

При выборе вариантов мокрого грохочения руды в дробильном переделе с последующей переработкой тонкой фракции в условиях непрерывного процесса в отдельном цикле учитывалось, что ритмичность и объемы поступления отмытого материала на дальнейшую переработку существенно зависят от режима работы дробильного отделения (ДО). В связи с этим с целью минимизации числа единиц оборудования, капитальных и эксплуатационных затрат проработаны различные варианты технологических схем получения мелких фракций различной крупности и их дальнейшей переработки в отдельном цикле:

- выделение фракции - 5 мм в виде подрешетного продукта отмывочного грохота;
- выделение фракции - 0,3 мм в виде слива классификатора;

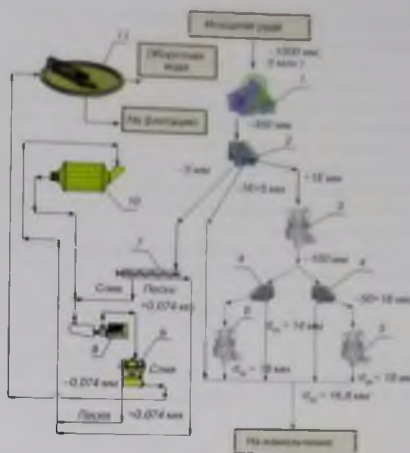


Рис. 2. Схема отмывки крупнодробленой руды по классу -5 мм и переработки отмытой фракции: 1 — шедовая дробилка ШДП-9-12, 1 ед.; 2 — грохот ГНС-2500-6000, 2 ед.; 3 — конусная дробилка КСД-2200, 2 ед.; 4 — грохот ГРС-1750-1500, 4 ед.; 5 — конусная дробилка КМД-2200 Т1-DM, 2 ед.; 6 — конусная дробилка КМД-2200 Т1-DM, 2 ед.; 7 — классификатор ККСН-30, 1 ед.; 8 — зумпф с насосом W 10/8 F-AP 1500; 9 — гидроциклон ГЦР-500, 3 ед.; 10 — мельница МШЦ-3600-5000; 11 — сгуститель Д-30, 2 ед.

- выделение фракции - 0,2 мм в виде слива гидроциклонов.

Все варианты предусматривают необходимость организации следующих общих операций:

- грохочение крупнодробленой руды по зерну 5 мм;
- двухстадийную классификацию подрешетного продукта;
- сгущение (аккумуляцию) слива классификатора (гидроциклонов) в радиальном сгустителе с ритмичной (равномерной) подачей сгущенного материала на флотацию в режиме работы оборудования главного корпуса.

При условии возможности размещения в главном корпусе операций по переработке отмытых шламов наиболее рациональным является вариант, по которому шламы выделяют в виде слива спирального классификатора, содержащего около 50 % класса -0,074 мм ( $d_{\text{ном}} = 0,3 \text{ мм}$ ), и доводят их до флотационной крупности в питании: межциклоной флотации — не менее 65 % указанного класса, основной коллективной флотации — 80 %.

Реализация варианта включает следующие операции (рис. 2):

- отмывку крупнодробленой руды на двухступенчатом инерционном грохоте;
- классификацию подрешетного продукта в спиральном классификаторе или гидроциклонах;
- подачу надрешетного продукта верхнего и нижнего сита грохота в корпус среднего и мелкого дробления;

• сгущение шлама I стадии классификации и измельчения в сгустителе;

• мешающую флотацию;

• измельчение (II стадия) камерного продукта мешающей флотации в шаровой мельнице, работающей в замкнутом цикле с гидростационарами, шлама, который является питанием основной коллективной флотации.

При реализации данного варианта отмычки шламов в корпусе мелкого и среднего дробления размещаются отмывочный грохот спиральный классификатор, гидростационар I стадии.

Дальнейшая переработка шламов осуществляется в главном корпусе. □

Зимин Алексей Владимирович

e-mail: nvs@nvs.ru

Скарин Олег Иванович

e-mail: nvs@nvs.ru

Немчинова Лариса Анатольевна

тел. (34791) 9-58-89

Ткаченко Марина Ивановна

тел. (34791) 9-58-89

Ягудин Радик Алтямович

тел. (34791) 9-53-47

#### DEVELOPMENT OF BENEFICIATION TECHNOLOGY OF COPPER-ZINC ORES WITH PRELIMINARY CLEANING OF -5 MM SIZE CATEGORY

Zimin A. V., Skarin O. I., Nemchinova L. A., Tkachenko M. I., Yagudin R. A.

Technology processing of charge of copper-zinc ores at beneficiation factory of "Uchalinsky mining and Concentration Plant" using cleaning of -5 mm size category from coarsed-crushed ores has been developed. It allows not only to eliminate sticking of slurry on the walls of bunkers and crushers, on the surface of sieves of screens, but also to improve technological parameters of flotation.

**Key words:** "Uchalinsky Mining and Concentration Plant", copper-zinc ores, slurries, cleaning, flotation, reagents, extraction.

УДК 622.765

К. С. САНАКУЛОВ, О. М. МУСТАКИМОВ, Н. Р. РУЗИЕВ (ГП «Навоийский ГМК») / А. В. ЗИМИН, М. А. АРУСТАМЯН, К. М. АРУСТАМЯН (ЗАО «НПО «РИВС»)

## БОГАЩЕНИЕ КРУПНОЗЕРНИСТОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ СХЕМ И ОБОРУДОВАНИЯ ЗАО «НПО «РИВС»



**К. С. САНАКУЛОВ,**  
генеральный директор,  
д-р техн. наук



**О. М. МУСТАКИМОВ,**  
зам. главного инженера



**Н. Р. РУЗИЕВ,**  
начальник Управления инвестиционных проектов,  
канд. техн. наук



**А. В. ЗИМИН,**  
генеральный директор,  
канд. техн. наук



**М. А. АРУСТАМЯН,**  
исполнительный директор,  
канд. техн. наук



**К. М. АРУСТАМЯН,**  
инженер-технолог

В ЗАО «НПО «РИВС» разработана новая флотационная технология переработки золотосодержащих сульфидных руд с выводом крупнозернистого золота. Технологическая схема базируется на специальном оборудовании производства ЗАО «НПО «РИВС».

**Ключевые слова:** сульфидные руды, крупное золото, флотация, агитационный комплекс, высокочастотный грохот.

На горно-обогатительных предприятиях увеличение объемов переработки руд, выпуска товарной продукции и достижение высоких технико-экономических показателей невозможно без внедрения новых технологий и применения современного высокоэффективного обогатительного оборудования.

На обогатительных фабриках, перерабатывающих золотосодержащие руды, применяют гравитационные, флотационные, гравитационно-флотационные схемы обогащения.



При гравитационных и гравитационно-флотационных схемах обогащения аппараты гравитационного обогащения (отсадочные машины, концентрационные столы, центробежные концентраторы) в основном устанавливаются в цикле измельчения для извлечения крупных частиц золота и его сростков.

Применение гравитационных аппаратов в технологических схемах обогащения золотосодержащих руд имеет ряд недостатков:

- необходимость установки дополнительного числа гравитационных аппаратов, работающих в циклическом режиме;
- подача большого объема воды в цикл гравитационного обогащения приводит к разжижению пульпы, поступающей на последующие технологические процессы, что вызывает необходимость установки дополнительных обезвоживающих устройств;
- в замкнутых циклах измельчения раскрытость свободного золота переизмельчается, деформируется, наклеивается на измельчающие тела, что приводит к снижению его извлечения в гравитационном цикле.

В связи с этим разработка новых технологических схем с применением высокоэффективного оборудования, свободных от вышеперечисленных недостатков, является актуальной задачей при обогащении золотосодержащих руд.

ЗАО «НПО «РИВС» является одним из предприятий, успешно занимающимся комплексным подходом к процессам обогащения минерального сырья.

Изучение раскрываемости минеральных частиц в цикле измельчения и их извлечение по мере раскрытия обеспечивает достижение высоких технологических показателей при снижении потерь полезных компонентов в хвостах обогатительного передела.

#### Горно-металлургический завод (ГМЗ-4) Навоийского ГКМ (Узбекистан)

На основе вышеуказанных принципов специалистами ЗАО «НПО «РИВС» разработаны технологический регламент и проектная документация на строительство ГМЗ-4 для обогащения золотосодержащих руд по гравитационно-сорбционной технологии.

На ГМЗ-4 выделены два типа перерабатываемых руд: золотые (легкообогатимые) и золотосеребряные (упорные). Они различаются по содержанию сульфидов, минеральному составу и соотношению Au : Ag. Золотосеребряные руды распространены только в рудных телах, залегающих в сланцах. Содержание сульфидов в легкообогатимых рудах составляет 3,5–4 %, а в упорных достигает 15–16 %. Упорные руды отличаются повышенным содержанием мышьяка, свинца, цинка, сурьмы и серебра, присутствием органического углерода. В рудах обоих типов главным рудным минералом — арсенопирит. Золото в руде самородное. В технологическом отношении руды месторождения являются простыми и могут перерабатываться по единой схеме. Наиболее эффективной технологией для извлечения золота из руд данного типа является гравитационное обогащение с последующим цианированием хвостов. Цианирование может осуществляться либо по полному иловому процессу, либо по технологии сорбционного выщелачивания. По мере увеличе-

ния в перерабатываемом сырье доли сложных упорных руд предусматривается применение процесса флотации.

В зарубежной практике для выделения золота, циркулирующего в цикле измельчения, выделяют часть разгрузки мельницы или песков классификатора и направляют их на гравитационное обогащение.

В проекте ГМЗ-4 ЗАО «НПО «РИВС» впервые разработана технологическая схема обогащения золотосодержащих руд с выводом свободного и крупнозернистого золота (рис. 1). Первая стадия измельчения осуществляется в мельнице полусамозмельчения, работающей в открытом цикле со спиральным классификатором. Слив спирального классификатора посту-

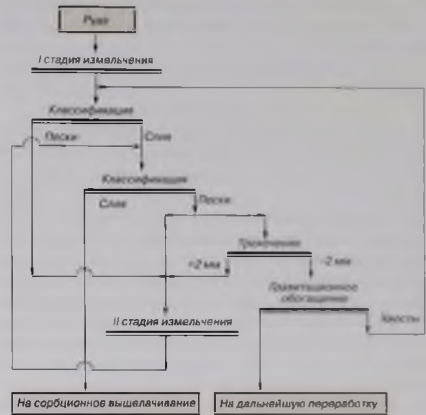


Рис. 1. Технологическая схема гравитационного обогащения руды на ГМЗ-4

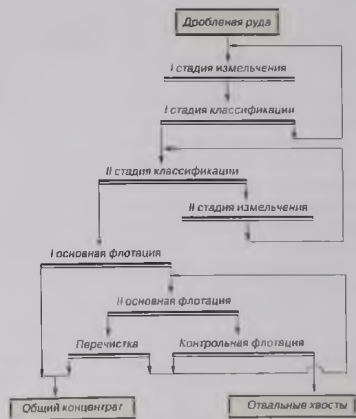


Рис. 2. Технологическая схема обогащения золотосодержащей руды на ГМЗ-3

пает на классификацию в гидроциклоне). Слив гидроциклонов направляется на сорбционное выщелачивание, а пески — на контрольное грохочение. Надрешетный продукт грохота ( $\sim 2$  мм) вместе с песками спирального классификатора поступает на II стадию измельчения, а подрешетный продукт ( $\sim 2$  мм) — на гравитационное обогащение в концентрате Falcon, концентрат которого направляется на дальнейшую переработку, а хвосты возвращаются в классификатор.

Разработанная схема позволит:

- стабилизировать работу цикла гравитационного обогащения,
- вывести из процесса свободное и крупнозернистое золото, циркулирующее в цикле измельчения,
- повысить технологические показатели обогащения,
- сократить число аппаратов гравитационного обогащения,
- уменьшить обводненность процесса рудоподготовки.

**Горно-металлургический завод ГМЗ-3**

В настоящее время на ГМЗ-3 сульфидные золото-содержащие руды перерабатывают по технологической схеме (рис. 2) с двухстадийным измельчением до крупности 82–85 % класса  $\sim 74$  мкм. Первая стадия измельчения осуществляется в мельнице, работающей в замкнутом цикле с классификатором, II стадия — в мельнице, работающей в замкнутом цикле с гидроциклонами. Сливы гидроциклонов II стадии измельчения поступают на I основную коллективную флотацию, концентрат которой является конечным продуктом, а концентрат II основной флотации поступает на перерешетку. Концентрат перерешетной операции объединяют с концентратом I основной флотации и направляют на дальнейшую переработку (биовыщелачивание и гидрометаллургию), камерный продукт основной флотации поступает на контрольную флотацию.

Технологические показатели существующей технологии следующие: содержание золота в коллективном концентрате — 19 г/т при извлечении 60,1 %, содержание сульфидной серы — 17,6 % при извлечении 81 %.

Специалистами СП ЗАО «ИВС» проведены исследования, направленные на совершенствование технологии обогащения золотосодержащих сульфидных руд во флотационном переделе. Исследования проводили в лаборатории Опытной методической геолого-технологической партии на технологических пробах сульфидных руд ГМЗ-3.

При исследовании отработали оптимальные технологические схемы, режимные параметры в цикле измельчения, оптимальный реагентный режим с использованием современных флотационных реагентов.

Особый интерес представляет разработанная технология выде-

ления крупнозернистого золота в операции межцикло-вой флотации после I стадии измельчения и флотационных пелесок классификации II стадии измельчения (рис. 3).

Установлено, что применение межцикло-вой и песковой операций флотации технологические показатели обогащения руды улучшаются.

В таблице приведены результаты лабораторных испытаний по разработанной технологии с использованием оборотной воды ГМЗ-3. Крупность измельченной

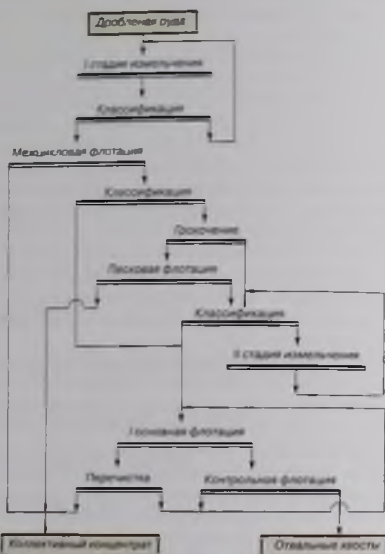


Рис. 3. Разработанная схема обогащения для ГМЗ-3

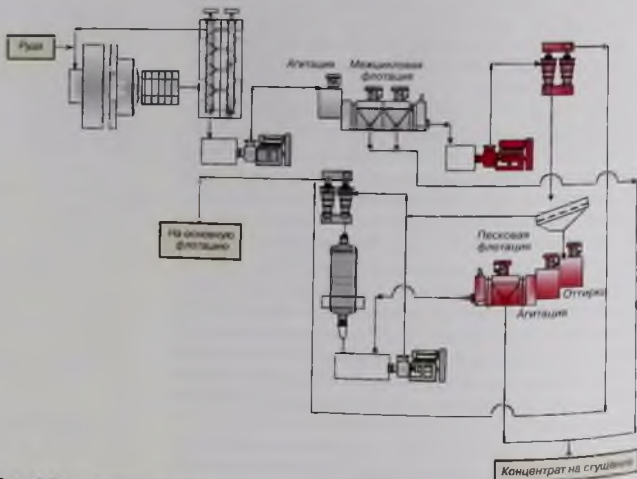


Рис. 4. Рекомендуемая схема цепи аппаратов для ГМЗ-3 с применением оборудования НПО «РИВС».

**Результаты лабораторных испытаний с использованием оборотной воды ГМЗ-3**

Наименование продукта	Содержание		Извлечение, %	
	Au, г/т	S <sub>сульф.</sub> , %	Au	S <sub>сульф.</sub>
Концентрат межцикловой флотации	27,1	21,3	62,1	68,6
Концентрат песковой флотации	25,2	19,6	12,1	13,2
Концентрат перерешетки	16,7	9,8	15,1	12,4
Суммарный концентрат	24,3	18,6	89,3	94,2



**Рис. 5. Флотомашин для песковой флотации FF RIF**

руды по стадиям составляла соответственно 57 и 84 % класса  $-0,074$  мм.

Полученные результаты свидетельствуют, что разработанная технология со стадийным выделением золота позволила повысить извлечение золота во флотационный концентрат с содержанием 24,3 г/т металла до 89,3 %.

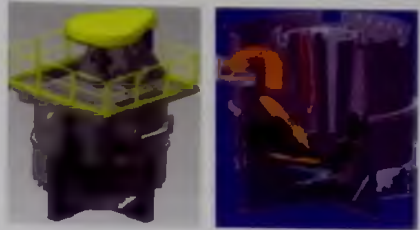
На основании результатов лабораторных испытаний для обогащения золотосодержащих сульфидных руд ГМЗ-3 был разработан технологический сегмент флотационной технологии извлечения золота с направлением золотосодержащего концентрата на последующие операции (бисовыщелачивания, замачивания и сорбционного выщелачивания).

Рекомендуемая схема цепи аппаратов с применением оборудования ЗАО «НПО «РИВС» (рис. 4) предусматривает межцикловую и песковую операции флотации в цикле измельчения для выведения крупного золота как свободного, так и в сростках.

В операциях флотации применяется флотомашинная специальной конструкции типа FF RIF (рис. 5). Флотомашин FF RIF может работать на пульпах, содержащих до 50 % твердого, крупностью не менее 45 % класса  $-0,074$  мм при плотности руды до  $4-7$  т/м<sup>3</sup>. Для повышения эффективности классификации во II стадии в цикле измельчения предусмотрен высокочастотный грохот типа ГРС-РИФ. Для повышения эффективности песковой флотации подрешетный продукт грохота направляется на пульпоподготовку в оттирочно-агитационный комплекс AFFK (рис. 6) и агитационный чан специальной конструкции AFF RIF. Надрешетный продукт грохота возвращается в мельницу на доизмельчение.

Предложенная схема позволит:

- исключить потери золота в цикле измельчения за счет применения операций межцикловой и песковой флотации;
- регулировать плотность пульпы в контактном чане, что повысит эффективность флотации и снизит обводненность процесса;



**Рис. 6. Оттирочно-агитационный комплекс RFFK**

• за счет применения высокочастотных грохотов РИФ и оттирочно-агитационного комплекса RFFK на песках гидроциклонов эффективно и надежно работают флотомашин FF RIF в операции последующей песковой флотации.

**Выводы**

1. ЗАО «НПО «РИВС» для ГМЗ-3 НГМК разработана новая флотационная технология переработки золотосодержащих сульфидных руд с выведением свободного крупнозернистого золота.

2. Для флотации крупнозернистого золота впервые применены операции межцикловой и песковой флотации, разработано и изготовлено специальное оборудование флотомашин FF RIF для флотации крупных частиц, оттирочно-агитационный комплекс RFFK, агитационный чан специальной конструкции AFF RIF высокочастотный грохот типа ГРС-РИФ.

Санакулов Кувандик Санакулович,  
E-mail: ksanakulov@npo-rivs.ru  
Исмаилов Степан Иванович,  
E-mail: o.ismailov@npo-rivs.ru  
Руднев Павел Рудневич,  
E-mail: p.rudnev@npo-rivs.ru  
Зимин Алексей Степанович,  
E-mail: a.zimin@npo-rivs.ru  
Арустамян Михаил Арустамович,  
E-mail: m.arustamyan@npo-rivs.ru  
Арустамян Карен Викторович,  
тел.: (812) 321-57-05

**ORE BENEFICIATION WITH LARGE-SIZE GOLD GRAINS USING SCHEMES AND EQUIPMENT DEVELOPED BY "NPO "RIVS"**

Sanakulov K. S., Mustakimov O. M., Ruziev N. R., Zimin A. V., Arustamyan M. A., Arustamyan K. M.  
New flotation technology for processing of gold-bearing sulphide ores with output of gold with large-size grains was developed by "NPO "RIVS". Technological scheme bases on special equipment manufactured by "NPO "RIVS".

**Key words:** sulphide ores, gold with large-size grains, flotation, agitation complex, high-frequency screen.



УДК 622.765

Ю. П. НАЗАРОВ, Ю. А. СМИРНОВ, ЗАО «НПО «РИВС»

## ОПЫТ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД



Ю. П. НАЗАРОВ  
ведущий научный сотрудник,  
канд. техн. наук



Ю. А. СМІРНОВ  
зам. главного инженера  
проекта

По экспертным оценкам UNSTAD, в настоящее время мировые запасы железной руды составляют порядка 800 млрд т, или в пересчете на металл — более 230 млрд т железа. Во всем мире добывают и перерабатывают железную руду 50 стран, причем 96 % этой продукции производят только 15 из них. В табл. 1 приведены данные об имеющихся запасах железных руд и объеме их добычи в ведущих странах за последнее десятилетие [1, 2].

В послевоенный период выделяют два этапа развития добычи и потребления железосодержащего сырья: 1950–1970 гг. — характеризуются высокими темпами роста добычи железных руд в большинстве стран; 1970 г. — по настоящее время — объемы производства в развитых странах сокращаются, а производство в «новых» горнопромышленных районах, прежде всего в Бразилии, Австралии и Индии, возросло в десятки раз [3].

На этом фоне сформировался ряд отраслевых изменений, носящих стратегический характер:

- увеличение производственной мощности горно-перерабатывающих предприятий;
- перераспределение доли типов железных руд в добываемом сырье;
- рост добычи руд, характеризующихся низким содержанием железа;
- повышение требований потребителей к товарной продукции;
- модернизация технологии обогащения.

Особо следует остановиться на динамике изменения промышленных типов разрабатываемых железных руд. Подтвержденные мировые запасы железных руд по разновидностям распределяются следующим образом, %: железистые кварциты — 70; скарново-магнетитовые — 9,5; апатит-магнетитовые и титаномагнетитовые — 6,5; бурые железняки — 10; другие — 2–4. Для отечественных месторождений в целом распределение аналогичное, но выше 15 % — доля скарново-магнетитовых руд [3].

*Проанализировано современное состояние техники и технологии флотационной доводки железных концентратов методом обратной катионной флотации за рубежом и в странах СНГ. Показаны преимущества данной технологии по сравнению с известными традиционными. Представлены возможности ЗАО «НПО «РИВС» в разработке технологии и оборудования, предназначенных для реализации флотационной доводки железных концентратов, получаемых магнитной сепарацией.*

**Ключевые слова:** железные руды, магнитная сепарация, концентрат, флотационная доводка, флотационные машины РИФ.

В последние десятилетия в добыче отмечается снижение доли скарново-магнетитовых руд\* при одновременном повышении (до 75 %) доли железистых кварцитов и генетически связанных с ними богатых гематито- и сидеритомартитовых руд. Тонкая вкрапленность минералов железа, их взаимопрорастание с породообразующими минералами, наряду с общим снижением удельной магнитной восприимчивости железосодержащих минералов, предопределяют постоянное усложнение режимов работы рудоподготовительных и обогатительных переделов.

Таблица 1. Динамика производства железорудного сырья (млн т) по странам

Страна	Запасы железных руд, млрд т	Объем добычи железных руд по годам, млн т			
		2000	2005	2007	2009*
Украина	30	55,7	68,6	77,4	56
Россия	25	86,8	95,1	105	85
Китай	22	105,3	197,6	365	400
Австралия	20	176,3	257,5	299	370
Бразилия	16	208,8	292,4	336,5	380
Казахстан	8,3	14,9	16,5	19,7	21
Индия	7	74,9	142,7	206,9	260
США	6,9	63,1	54,3	52,4	54
Венесуэла	4	17,4	21,2	20,7	16
Швеция	3,5	20,6	23,3	24,7	18
Иран	2,5	н. д.	14,8	22	33
Канада	1,7	35,9	30,1	34,1	27
ЮАР	1	33,7	39,5	41,6	53
Мавритания	0,7	115	10,7	119	11
Мексика	0,7	113	11,7	10,9	12
Остальные	11	30,8	33	36,2	47
Всего в мире	160	959,4	1309	1664	1843

\* Оценочно.

\* То же относится к бурым железнякам и сидеритам.

В то же время становится все более актуальной проблема переработки окисленных руд. На большинстве рудников относительно бедные окисленные железистые кварциты в настоящее время не перерабатывают в связи с отсутствием технологии.

Увеличение доли труднообогатимых железных руд в общем объеме добываемого сырья в сочетании с ужесточением требований концентратов, вследствие массового перехода металлургии на электро- и кислородно-конвертерное сталеплавление, предопределило необходимость формирования новых подходов к переработке этого вида сырья. С учетом объемов переработки и необходимости расширения рудной базы, в том числе за счет окисленных железистых кварцитов, практически единственным промышленным доводочным или основным методом переработки становится флотация.

Промышленное освоение флотационного метода началось в 1975 г. на обогатительной фабрике (ОФ) Tilden (США), перерабатывающей магнетитовые\*\* и гематитовые руды месторождения Clifs' Tilden. В настоящее время из 11 железорудных предприятий Северной Америки (табл. 2) четыре фабрики в США и три в Канаде перерабатывают руды методом флотации.

В течение прошедших двух-трех десятилетий во флотационной технологии переработки железных руд, помимо чисто количественных изменений, произошли и качественные. В частности, обновился машинопарк: объемы флотокамер возросли с 14 до 84 м<sup>3</sup>; в перечисленных операциях машины механического типа были вытеснены колонными машинами. Соответствующее развитие получили средства управления и контроля флотационным процессом. Практически полностью сформировались топология обратной флотации с извлечением в пенный продукт кварца и других породообразующих минералов и получением в камерном

продукте железного концентрата, реагентная рецептура процесса, основанная на использовании катионных собирателей, требования к ионному составу водной фазы пульпы.

Одновременно разработаны технологии флотационной доводки железных концентратов, выделяемых магнитной сепарацией из таконитовых руд, с получением суперконцентратов. Сущность метода заключается во флотационном доизвлечении тонкозернистого кварца, раскрываемого при доизмельчении магнитных концентратов. Единственным коммерческим ограничением применения флотации при обогащении железных руд в США является низкое извлечение зерен кварца крупностью -25 мкм.

Относительно высокое содержание железа (50-55 %) и кварца в итабиритах — основы железорудного сырья Бразилии, осложненные тонким взаимопрорастанием минералов — предопределили преимущественное развитие флотационного метода переработки железных руд в этой стране.

В настоящее время из 41 железорудного предприятия Бразилии, зарегистрированного в UNSTAD, десять работают по флотационной технологии (табл. 3).

На крупнейшей в мире флотационной фабрике (производительность 600 т/ч) по доводке магнетитовых концентратов Compaсha Minerа Huasco (Чили) достигнуто снижение содержания кварца в товарном концентрате с 3 до 1,2 [4].

В Австралии при обогащении руд одной из крупнейших компаний континента Cape Lambert подтверждено преимущество флотационной доводки магнитного концентрата, в ходе которой содержание железа повышается с 63,1 до 66,4 %, а содержание кремнезема снижается с 8,3 до 4,8 % при извлечении железа в этом цикле 91,4 %, в то время как при использовании в качестве доводочной операции магнитной сепарации

Таблица 2. Показатели работы ряда железорудных предприятий США и Канады

Обогатительная фабрика	Erie	Butler	Griffith	Republic mine	Empire mine	Groveland mine	Tilden mine
Производительность, млн т/год	30,0	8,23	4,7	7,42	18,3	5,1	11,2
Тип руды	Таконитовая тонкозернистая	Таконитовая среднезернистая	Таконитовая тонкозернистая	Гематит, магнетит, мартит, кремнистый сланец	Магнетитовая кремнистая формация	Магнетит, гематит, железистые силикаты, гематит	Мартит, гематит, гетит
Метод обогащения	Магнитная сепарация			Флотация			
Содержание Fe в руде, %	24,2	22,0	25,7	36,5	22,5 (Fe <sub>ош</sub> )	34,5	35,9
Содержание в концентрате, %:							
Fe <sub>ош</sub>	66,2	68,3	70,2	65,4	66,5	64,4	65,6
Fe <sub>литн</sub>	65,3	65,8	68,5				
SiO <sub>2</sub>	6,1	3,8	2,5	4,95	6,48	6,3	4,9
Извлечение Fe в концентрат, %	95,1	96,5	85,0	82,4		78,8	70,2

\*\* 4 месяца перерабатывают магнетитовые и 8 месяцев — гематитовые руды.

низкой интенсивности содержание кварца в концентрате составляло 5,8, а железа 66 %.

На индийском предприятии Kishorepatan (22 млн т/год) в переделе флотации при доводке концентрата II стадии магнитной сепарации содержание железа увеличивается с 65,5 до 68 % при извлечении более 75 %, содержание кремнезема при этом уменьшается с 5–7,5 до 2–3 %. Содержание железа в пенных продуктах флотации составляет 15–20 %.

Таким образом можно выделить основные направления применения флотационной технологии за рубежом при переработке железосодержащего сырья

- получение концентратов из слабомагнитных (окисленных) железных руд;
- получение суперконцентратов;
- переработка текущих и лежалых хвостов с получением железного концентрата

К сожалению, в России и других странах СНГ как по коммерческому (промышленному) применению флотации при обогащении железных руд, так и по его научно-техническому сопровождению наблюдается значительное отставание. Достаточно упомянуть, что индекс цитирования по данному направлению в нашей стране не превышает 5–8 % общемировых показателей.

На крупнейших железорудных предприятиях России и других стран СНГ исходную руду в зависимости от ее вещественного состава и крупности дробленого продукта перерабатывают по технологии стадийного измельчения и мокрой магнитной сепарации с последовательным выделением отвалных хвостов после каждой стадии доизмельчения и магнитной сепарации. Естественно, что для получения суперконцентратов требуется измельчение материала практически до 100 мкм – 45 мкм. Кроме того, к недостаткам технологии магнитного обогащения для железных руд относятся:

- низкая контрастность магнитных свойств разделяемых рудных и нерудных частиц вследствие наличия большого количества окростков при грубом измельчении руды;
- слабая селективность магнитного обогащения при тонком измельчении руды (до 90–95 % класса – 0,045 мм, при этом содержание класса – 10 мкм достигает 30 %);
- нестабильность процесса сепарации в связи с изменчивостью вещественного состава и характера вкрапленности окисленных кварцитов.

Поскольку до 35 % расходов на магнитно-обогащительных фабриках составляют затраты по статье «Электропотребление» на переделе измельчения, актуализируются направления работ, ориентированных на уменьшение количества материала, подаваемого на тонкое измельчение, в том числе и



**Рис. 1.** Пневмомеханические флотомашины специального назначения РИФ 25ЧМ для доводки магнетитовых концентратов Ингулецкого ГОКа

**Таблица 3.** Технологическое назначение операций флотации на бразильских ОФ

Компания	Операция флотации	Разделение минералов
Samitrol	Основная, контрольная, перечистная	Силикаты от итабитов
МБЛ	Основная, перечистная	Силикаты от гематита
Samitrol IB-II	Основная, перечистная	То же
Samitrol IB-III	Основная, контрольная, перечистная	Силикаты от итабитов
CSN	Основная, контрольная	То же
CVRD Timbopeba	Основная, перечистная	---
CVRD Concesicao	Основная, перечистная	---
Minera del Norte	Перечистная	Фосфориты от гематита
USS Mintac	Перечистная	Силикаты из таконитов

по схемам, предусматривающим последующий отсев тонкозернистого кварца.

В соответствии с намеченными Правительством РФ [5] структурной и качественной перестройкой черной металлургии с переходом на прогрессивные способы металлургического передела, предполагается прежде всего совершенствовать технологию первичного передела при переработке железных руд. Особо следует отметить, что важнейшим условием отнесения железных руд к электро- и порошково-металлургическим типам является их состав, гомогенность, способность обогащаться до практически мономинеральных концентратов [3]. В этих условиях фактически единственным методом обогащения, отвечающим всем требованиям, является флотационный.

В настоящее время в странах СНГ магнитно-флотационные схемы находятся в промышленной эксплуатации только на трех ГОКах: Ингулецком, Полтавском и Михайловском\*\*\*.

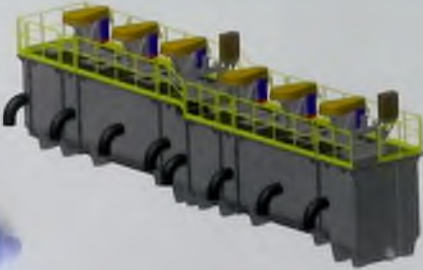
В 2003 г. по заказу ИнГОКа (рис. 1) НПО «РИВС» — флагман отечественного флотационного машиностроения — впервые в мировой практике выполнил работы по комплектации основным и вспомогательным оборудованием флотационного передела узла доводки магнетитового концентрата производительною

\*\*\* На периодической основе, в том числе при переработке хвостов текущей добычи.



**Таблица 4. Характеристика железных концентратов, получаемых по различной технологии**

Технологическая схема	Технологические показатели, %		
	Выход концентрата	Содержание Fe в концентрате	Извлечение Fe в концентрате
Магнитная	46,7	56,1	69,7
Магнитно-флотационная	41,9	65,2	72,7
Флотационная	48,8	64,2	82,3



**Рис. 2. Флотационная машина РИФ пневмомеханического типа в сборе**

3 млн т в год на базе флотомашин РИФ 254М пневмомеханического типа (рис. 2–4).

Применение импеллерных машин для обратной флотации железных руд открывает новые возможности предприятий по увеличению мощностей обогатительного производства и повышению качества железных концентратов.

Главной конструктивной особенностью флотомашин РИФ является модульный принцип построения, что позволяет эффективно внедрять их при реконструкции старых предприятий с ограниченными высотой кровли и грузоподъемностью оборудования. Благодаря такой конструкции флотомашини легко транспортировать как по железной дороге, так и в автомашинах.

Уникальность аэрационному узлу РИФ придадут качественно новые гидродинамические условия, создаваемые за счет оптимальных придонных и восходящих потоков пульпы и позволяющие увеличить количество тонкодисперсного воздуха (до 30 %) и снизить мощность, потребляемую приводом блока. Кроме того, применение аэрационных узлов дает возможность сократить фронт флотации за счет увеличения скорости процесса, извлекать частицы широкого диапазона крупности, в том числе +0,2 мм, что наиболее актуально для флотации породных минералов при обратной флотации.



**Рис. 3. Модуль флотационной машины РИФ**

В последние годы ЗАО «НПО «РИВС» проводит большой комплекс исследований по разработке и совершенствованию техники и технологии\*\*\*\* обогащения железных руд Криабасса и Костомукшского месторождения. Работы проводятся по следующим основным направлениям.

применение флотационного метода обогащения для повышения качества магнетитовых концентратов, в том числе получения суперконцентратов

разработка эффективной технологии обогащения окисленных железистых кварцитов

В рамках разработки технологии получения суперконцентрата из товарного (рядового) магнетитового концентрата Костомукшского ГОКа из исходного продукта, содержащего 68 % железа и 4,7 % кремнезема, получен концентрат, содержащий 70,88 % железа и 1,17 % кремнезема, при извлечении железа 97,1 %.

Одним из объектов работы ЗАО «НПО «РИВС» по второму направлению служат окисленные кварциты Криабасса, представленные Валякинским (НКГОК) и Скелеватским (ЮГОК) месторождениями, утвержденные запасы которых составляют около 2,2 млрд т. В результате исследований на рудах Валякинского месторождения специалистами ЗАО «НПО «РИВС» разработана и предложена стадийная флотационная схема и сформирован реагентный режим. Соответствующие данные в сопоставлении с традиционными подходами приведены в табл. 4.

В настоящее время магнетитовые кварциты перерабатывают на обогатительных фабриках Костомукшского, Лебединского, Михайловского, Оленегорского и Стойленского комбинатов (Россия), а также на предприятиях Украины: ИНГОК, НКГОК, Полтавский, СевГОК, ЦГОК, ЮГОК.

Скарновые магнетитовые руды обогащают на Коршуновском, Ковдорском, Высокогорском ГОКах, на обогатительных фабриках ОАО «Евразруда» (Россия) и на ОАО «СГПО» (Казахстан).

На обогатительной фабрике ОАО «Качканарский ГОК» перерабатывают бедные по содержанию железа титаномагнетиты Гусеворского месторождения.

Как известно [6], в высококачественных концентратах содержание кремнезема не должно превышать 5 %, а в концентратах для прямого восстановления металла — 2,5–3 %. Одним из важнейших условий проведения обратной флотации кварца из железных концентратов является использование современных селективных, экологически безопасных (биоразлагаемых) реагентов-собираателей. ЗАО «НПО «РИВС» в сотрудничестве с компанией Clariant может сформировать реагентный режим для железных руд практически всех типов

Исходя из нашего опыта, можем предположить возможность получения суперконцентратов, пригодных для про-

\*\*\*\* Все технологические разработки в этом направлении защищены патентами.



Рис. 4. Аэрационный комплекс флотационной машины РИФ

изводства железных порошков, из ряда руд Оленегорского месторождения и КМА, высококачественных концентратов из железистых кварцитов Карелии, Лебединского, Стойленского и других месторождений, пригодных для прямого восстановления в электропечах.

Библиографический список

1. Trust fund on iron ore information iron ore statistics 2009. — UNSTAD, Geneva, 2009 г.
2. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January, 2010.

3. Железнодорожная база России. — М., 2007.
4. SMN Iron Ore Flotation, 2006.
5. Долгосрочная программа изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья (2005–2010 гг. и до 2020 г.).
6. Сентемова В. А. Флотация в схемах обогащения магнетитовых руд // Обогащение руд. — 2007. — № 2. □

Назаров Юрий Павлович,  
e-mail: rivs@rivs.ru  
Смирнов Юрий Александрович,  
тел.: (812) 321-57-05

EXPERIENCE OF FLOTATION BENEFICIATION OF IRON ORES

Nazarov Yu. P., Smirnov Yu. A.

Up-to-date state of technique and technology of flotation finishing of iron concentrates using the method of reverse cation flotation abroad and in the CIS countries has been analyzed. Advantage of this technology comparing with well-know conventional technologies have been shown. Possibilities of "NPO "RIVS" in development of technology and equipment, destined for realization of flotation finishing of iron concentrates, produced by magnetic separation are presented.

**Key words:** iron ores, magnetic separation, concentrate, flotation finishing, "RIF" flotation machine.



www.rudmet.ru

Издательский дом «РУДА и МЕТАЛЛЫ»

Предлагаем Вашему вниманию электронные версии журналов

«Горный журнал», «Цветные металлы», «Черные металлы», «Обогащение руд» и «Материалы электронной техники».

Электронная продукция представляет собой полнотекстовые версии опубликованных журналов в формате pdf. Организациям, их подразделениям и отдельным специалистам предлагаем информацию на CD с необходимым программным обеспечением. Наша продукция предназначена для применения на самых разных уровнях. Электронные версии, полностью соответствующие своему печатному изданию, имеют удобный интерфейс и интерактивное содержание, позволяющие быстро найти нужную статью.



Россия, 119049, Москва, а/я 71  
Тел./факс: +7 (495) 638-45-18  
638-44-23

УДК 622.7.002.5

А. А. ТРУШИН, А. В. СЕДОВ, А. А. ЛЮБИЧЕНКО, И. С. НИКАНДРОВ (СП ЗАО «РИВС»)

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАО «НПО «РИВС»



**А. А. ТРУШИН,**  
начальник  
службы автоматизации,  
канд. техн. наук



**А. В. СЕДОВ,**  
зам. начальника  
службы автоматизации



**А. А. ЛЮБИЧЕНКО,**  
инженер  
службы автоматизации



**И. С. НИКАНДРОВ,**  
инженер-программист  
службы автоматизации

Эффективность флотационного процесса обогащения руд зависит от их вещественного состава, конфигурации технологических схем, характеристик применяемого оборудования, номенклатуры используемых реагентов и ряда других факторов, в том числе не в малой степени — от опыта и квалификации флотатора. В связи с этим задача широкого применения арсенала непрерывно совершенствующихся технических средств автоматизации, способствующих, с одной стороны, повышению эффективности действий флотатора, а с другой — уменьшению влияния человеческого фактора на результаты работы, является весьма актуальной.

Традиционными системами регулирования флотационных пневмомеханических машин, применяемыми всеми производителями, являются системы регулирования подачи воздуха и стабилизации уровня пульпы.

Стабилизация уровня пульпы осуществляется отдельно в каждом каскаде флотомашини путем воздействия системы регулирования на пневматические приводы пробковых затворов промежуточных или хвостовых карманов\*.

В качестве измерителей уровня пульпы наибольшее распространение получили датчики, использующие принципы измерения высоты подъема поплавка

*Приведен обзор достижений в области автоматизации процесса флотации за счет применения современных средств контроля, компьютерной обработки данных и централизованного предоставления информации технологическому персоналу. Показаны успехи ЗАО «НПО «РИВС» в решении подобных задач.*

**Ключевые слова:** флотационные машины, пеностем, уровень пульпы, расход воздуха, аэрация, расход реагентов, автоматизированное управление и контроль.

или перепада давления воздуха (пьезометрические) в измерительных трубках, погруженных в пульпу.

Как показал опыт эксплуатации датчиков упомянутых конструкций, пьезометрические уровнемеры имеют определенное преимущество перед поплавковыми. Одним из преимуществ пьезометрических уровнемеров является предоставляемая ими возможность измерения плотности среды, в которую они погружены. Измерение плотности дает возможность повысить точность контроля уровня за счет введения коррекции по ее значению, а также получить дополнительную информацию, используемую для регулирования процесса во флотомашине, что становится особенно актуальным при флотировании крупнозернистого материала и при ведении процесса обратной флотации. Другим важным преимуществом датчиков рассматриваемого типа является возможность измерения уровня в операциях флотации с обильным пенообразованием. Высокая насыщенность пульпы воздухом и, как следствие, низкая плотность среды (существенно ниже плотности воды) приводят к выходу из строя поплавковых датчиков, которые проваливаются ниже границы раздела сред или даже тонут. Конструктивное исполнение пьезометрических уровнемеров позволяет применять их и в качестве самостоятельных датчиков плотности в открытых емкостях.

Для флотомашин, оснащенных двумя регулируемые шибберными затворами в разгрузочных или промежуточных карманах, авторами разработаны несколько вариантов алгоритмов работы систем регулирования уровня пульпы. Выбор конкретного варианта зависит от величины и характера колебаний количественных характеристик продукта питания. Так, при наличии частых больших возмущений по питанию предпочтительным является алгоритм, обеспечивающий синхронное управление обоими затворами одно-

\* Патент РФ № 2165302 Способ автоматического управления флотационной машиной и устройство автоматического управления флотационной машиной.



УДК 622.7.002.5

А. А. ТРУШИН, А. В. СЕДОВ, А. А. ЛЮБИЧЕНКО, И. С. НИКАНДРОВ (СП ЗАО «ИВС»)

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАО «НПО «РИВС»



**А. А. ТРУШИН,**  
начальник  
службы автоматизации,  
канд. техн. наук



**А. В. СЕДОВ,**  
зам. начальника  
службы автоматизации



**А. А. ЛЮБИЧЕНКО,**  
инженер  
службы автоматизации



**И. С. НИКАНДРОВ,**  
инженер-программист  
службы автоматизации

Эффективность флотационного процесса обогащения руд зависит от их вещественного состава, конфигурации технологических схем, характеристик применяемого оборудования, номенклатуры используемых реагентов и ряда других факторов, в том числе не в малой степени — от опыта и квалификации флотатора. В связи с этим задача широкого применения арсенала непрерывно совершенствующихся технических средств автоматизации, способствующих, с одной стороны, повышению эффективности действий флотатора, а с другой — уменьшению влияния человеческого фактора на результаты работы, является весьма актуальной.

Традиционными системами регулирования флотационных пневмомеханических машин, применяемыми всеми производителями, являются системы регулирования подачи воздуха и стабилизации уровня пульпы.

Стабилизация уровня пульпы осуществляется отдельно в каждом каскаде флотомашини путем воздействия системы регулирования на пневматические приводы пробковых затворов промежуточных или хвостовых карманов\*.

В качестве измерителей уровня пульпы наибольшее распространение получили датчики, использующие принципы измерения высоты подъема поплавка

*Приведен обзор достижений в области автоматизации процесса флотации за счет применения современных средств контроля, компьютерной обработки данных и централизованного представления информации технологическому персоналу. Показаны успехи ЗАО «НПО «РИВС» в решении подобных задач*

**Ключевые слова:** флотационные машины, плотность, уровень пульпы, расход воздуха, аэрация, расход реагентов, автоматизированное управление и контроль.

или перепада давления воздуха (пьезометрические) в измерительных трубках, погруженных в пульпу

Как показал опыт эксплуатации датчиков упомянутых конструкций, пьезометрические уровнемеры имеют определенное преимущество перед поплавковыми. Одним из преимуществ пьезометрических уровнемеров является предоставляемая ими возможность измерения плотности среды, в которую они погружены. Измерение плотности дает возможность повысить точность контроля уровня за счет введения коррекции по ее значению, а также получить дополнительную информацию, используемую для регулирования процесса во флотомашине, что становится особенно актуальным при флотировании крупнозернистого материала и при ведении процесса обратной флотации. Другим важным преимуществом датчиков рассматриваемого типа является возможность измерения уровня в операциях флотации с обильным пенообразованием. Высокая насыщенность пульпы воздухом и, как следствие, низкая плотность среды (существенно ниже плотности воды) приводят к выходу из строя поплавковых датчиков, которые проваливаются ниже границы раздела сред или даже тонут. Конструктивное исполнение пьезометрических уровнемеров позволяет применять их и в качестве самостоятельных датчиков плотности в открытых емкостях.

Для флотомашин, оснащенных двумя регулируемыми шибберными затворами в разгрузочных или промежуточных карманах, авторами разработаны несколько вариантов алгоритмов работы систем регулирования уровня пульпы. Выбор конкретного варианта зависит от величины и характера колебаний количественных характеристик продукта питания. Так, при наличии частых больших возмущений по питанию предпочтительным является алгоритм, обеспечивающий синхронное управление обоими затворами одно-

\* Патент РФ № 2165302. Способ автоматического управления флотационной машиной и устройство автоматического управления флотационной машиной.

временно. В том случае, когда количество продукта питания может существенно отклоняться от среднего значения в ту или иную сторону в течение длительного времени, что происходит, например, при изменении числа мельниц, работающих на одну секцию флотации, более предпочтительным является каскадный принцип управления донными затворами. Каскадный принцип регулирования, известный в теории автоматического управления как «принцип управления с применением регулятора с переменным коэффициентом усиления», заключается в том, что при минимальных расходах продукта питания управление осуществляется путем воздействия на один из затворов. При существенном увеличении входного потока, когда полное открытие работающего затвора не обеспечивает поддержание заданного уровня, контроллер подключает второй контур управления. Применение такого алгоритма позволяет значительно повысить качество регулирования, оцениваемое по степени отклонения стабилизируемого параметра от заданного значения.

Регулирование подачи технологического воздуха в азрационные узлы флотомашин осуществляется путем стабилизации расхода воздуха в питающем воздушном коллекторе. При этом воздух может регулироваться как в целом на каскад флотомашин, так и в каждую камеру отдельно.

В качестве датчиков расхода воздуха наиболее часто применяются измерительные диафрагмы. Возможно также применение датчиков расхода, работающих на иных принципах измерения, например вихревых, термоанемометрических и др.

Однако традиционный подход к решению проблемы регулирования подачи воздуха обладает существенным недостатком, так как степень азрации пульпы в каждой камере зависит не только от расхода воздуха в общем коллекторе, но и от производительности флотомашин, степени износа отдельных элементов азрационных узлов, величины сопротивления

движению воздуха подводящего тракта и т. п.

В этом отношении более перспективным, на взгляд авторов, является регулирование подачи воздуха с учетом измерения количества диспергируемого воздуха непосредственно в камере флотомашин. Данный способ измерения является аналогом известного способа измерения расхода с использованием мерного сосуда и представляет собой колокол, погружаемый вертикально в пульпу открытой стороной. Воздух, поступающий во внутреннюю полость колокола, с помощью пневматической трубки направляется в расходомер. При известных значениях площади поперечного сечения колокола и расхода воздуха, выделяемого с поверхности пульпы, ограниченной входным отверстием колокола, можно рассчитать удельную насыщенность пульпы подаваемым воздухом. Наличие такого устройства позволяет осуществить регулирование подачи воздуха по прямому параметру — заданной степени азрации пульпы в камере флотомашин.

Другой немаловажной проблемой, которая не может быть решена без применения систем автоматики, является компенсация отрицательного влияния колебаний количества продукта питания, поступающего на флотацию из предшествующих технологических переделов, в частности из отделения измельчения. Колебания могут быть вызваны неравномерной подачей руды в мельницы, неисправностью отдельных агрегатов в технологической цепи, неравномерным распределением нагрузки между параллельно работающими секциями и т. п.

Одними из элементов технологических схем, вносящих дополнительное возмущение по питанию флотации, являются механические распределители питания, основное назначение которых заключается в равномерном распределении пульпы по потокам в параллельно работающие секции. Однако вследствие неравномерного износа отдельных элементов конструкций, отклонения траектории исходного потока в ту или иную

сторону вследствие заиливания пространства распределительной коробки соблости заданное соотношение распределения потоков практически невозможно.

Разработанный авторами автоматический распределитель питания АРП-РИФ свободен от этих недостатков. Эффект равномерного распределения потоков достигается тем, что, во-первых, для регулирования величины потока каждую секцию распределителя оснащают регулирующими донными затворами, и, во-вторых, благодаря конструкции устройства обеспечивается возможность измерения величины выходящего потока, например, с использованием принципа работы целевого расходомера (рис. 1). Измеряемые параметры расходов вводят в контроллер, который в соответствии с заданием формирует управляющие воздействия на исполнительные механизмы, обеспечивая таким образом либо равномерное, либо заданное соотношение величин потоков, выходящих из распределителя.

Другим направлением работ, связанных с преодолением влияния возмущений по питанию на качество управления процессом флотации, явилась разработка системы адаптивного управления уровнем пульпы в последовательной цепи флотомашин, когда выходной продукт предыдущего аппарата является питанием последующего.

При реализации стандартного ПИД-закона регулирования уровня пульпы в случае возникновения сильного возмущения по объему питания, например в сторону увеличения, система стабилизации в силу своей инерционности не способна мгновенно компенсировать возникшее возмущение, что приводит к значительному отклонению уровня от заданного значения и прохождению возмущения по питанию на следующий каскад флотомашин. В последующий период времени система стабилизации переставляет регулирующий орган в сторону компенсации поступившего возмущения, увеличивая проходное сечение затвора, что приводит к дополнительному

временно. В том случае, когда количество продукта питания может существенно отклоняться от среднего значения в ту или иную сторону в течение длительного времени, что происходит, например, при изменении числа мельниц, работающих на одну секцию флотации, более предпочтительным является каскадный принцип управления донными затворами. Каскадный принцип регулирования, известный в теории автоматического управления как принцип управления с применением регулятора с переменным коэффициентом усиления, заключается в том, что при минимальных расходах продукта питания управление осуществляется путем воздействия на один из затворов. При существенном увеличении входного потока, когда полное открытие работающего затвора не обеспечивает поддержание заданного уровня, контроллер подключает второй контур управления. Применение такого алгоритма позволяет значительно повысить качество регулирования, оцениваемое по степени отклонения стабилизируемого параметра от заданного значения.

Регулирование подачи технологического воздуха в азрационные узлы флотомашин осуществляется путем стабилизации расхода воздуха в питающем воздушном коллекторе. При этом воздух может регулироваться как в целом на каскад флотомашин, так и в каждую камеру отдельно.

В качестве датчиков расхода воздуха наиболее часто применяются измерительные диафрагмы. Возможно также применение датчиков расхода, работающих на иных принципах измерения, например вихревых, термоанемометрических и др.

Однако традиционный подход к решению проблемы регулирования подачи воздуха обладает существенным недостатком, так как степень азрации пульпы в каждой камере зависит не только от расхода воздуха в общем коллекторе, но и от производительности флотомашин, степени износа отдельных элементов азрационных узлов, величины сопротивления

движению воздуха подводящего тракта и т. п.

В этом отношении более перспективным, на взгляд авторов, является регулирование подачи воздуха с учетом измерения количества диспергируемого воздуха непосредственно в камере флотомашин. Данный способ измерения является аналогом известного способа измерения расхода с использованием мерного сосуда и представляет собой колокол, погружаемый вертикально в пульпу открытой стороной. Воздух, поступающий во внутреннюю полость колокола, с помощью пневматической трубки направляется в расходомер. При известных значениях площади поперечного сечения колокола и расхода воздуха, выделяемого с поверхности пульпы, ограниченной входным отверстием колокола, можно рассчитать удельную насыщенность пульпы подаваемым воздухом. Наличие такого устройства позволяет осуществить регулирование подачи воздуха по прямому параметру — заданной степени азрации пульпы в камере флотомашин.

Другой немаловажной проблемой, которая не может быть решена без применения систем автоматики, является компенсация отрицательного влияния колебаний количества продукта питания, поступающего на флотацию из предшествующих технологических переделов, в частности из отделения измельчения. Колебания могут быть вызваны неравномерной подачей руды в мельницы, неисправностью отдельных агрегатов в технологической цепи, неравномерным распределением нагрузки между параллельно работающими секциями и т. п.

Одними из элементов технологических схем, вносящих дополнительное возмущение по питанию флотации, являются механические распределители питания, основное назначение которых заключается в равномерном распределении пульпы по потокам в параллельно работающие секции. Однако вследствие неравномерного износа отдельных элементов конструкций, отклонения траектории исходного потока в ту или иную

сторону вследствие заиливания пространства распределительной коробки соблости заданное соотношение распределения потоков практически невозможно.

Разработанный авторами автоматический распределитель питания АРП-РИФ свободен от этих недостатков. Эффект равномерного распределения потоков достигается тем, что, во-первых, для регулирования величины потока каждую секцию распределителя оснащают регулируемыми донными затворами, и, во-вторых, благодаря конструкции устройства обеспечивается возможность измерения величины выходящего потока, например, с использованием принципа работы целого расходомера (рис. 1). Измеряемые параметры расходов вводят в контроллер, который в соответствии с заданием формирует управляющие воздействия на исполнительные механизмы, обеспечивая таким образом либо равномерное, либо заданное соотношение величин потоков, выходящих из распределителя.

Другим направлением работ, связанных с преодолением влияния возмущений по питанию на качество управления процессом флотации, явилась разработка системы адаптивного управления уровнем пульпы в последовательной цепи флотомашин, когда выходной продукт предыдущего аппарата является питанием последующего.

При реализации стандартного ПИД-закона регулирования уровня пульпы в случае возникновения сильного возмущения по объему питания, например в сторону увеличения, система стабилизации в силу своей инерционности не способна мгновенно компенсировать возникшее возмущение, что приводит к значительному отклонению уровня от заданного значения и прохождению возмущения по питанию на следующий каскад флотомашин. В последующий период времени система стабилизации переставляет регулирующий орган в сторону компенсации поступившего возмущения, увеличивая проходное сечение затвора, что приводит к дополнительному



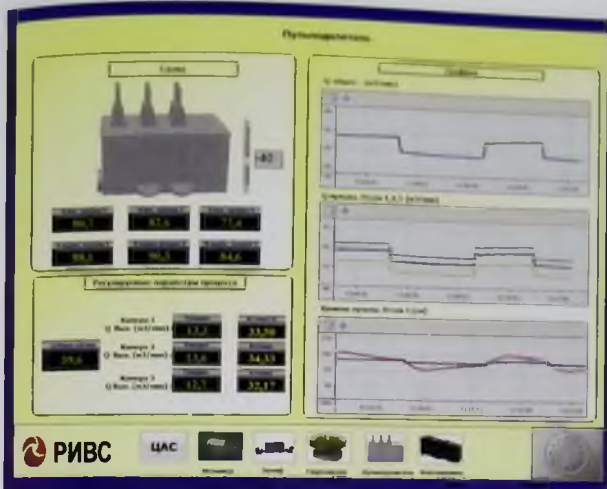


Рис. 1. Иллюстрация принципа действия автоматизированного распределителя питания АРП-РИФ

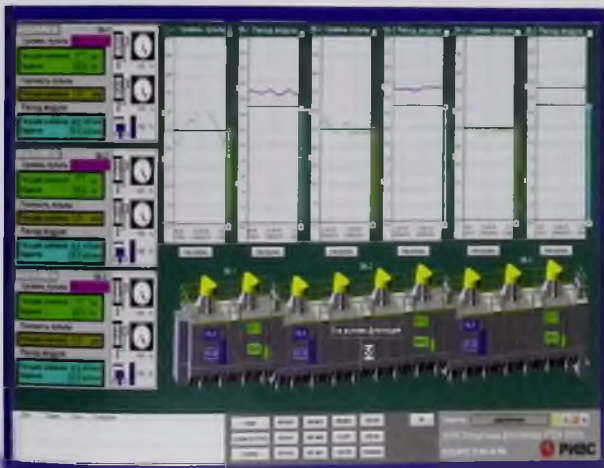


Рис. 2. Система адаптивного управления уровнем пульпы в последовательных каскадах флотомашин

изменению количества выходного продукта. Таким образом, поступившее на вход головной машины возмущение не только не затухает, но по мере прохождения по связанной цепи флотомашин может даже усиливаться, приводя к ухудшению показателей обогащения по всей операции.

Для уменьшения отрицательного эффекта от «раскачки» процесса, вызванного описанным

явлением, разработан адаптивный алгоритм. Его суть заключается в том, что в случае выявления возмущения в голове технологической цепи одним из возможных способов оценивается его величина, например по расходу или по перемещению регулирующих органов, установленных на предыдущем каскаде флотомашин. Затем осуществляется упреждающее по

времени и значению изменение положения шиберных затворов по всей цепи аппаратов, рассчитанное таким образом, чтобы минимизировать воздействие проходящей «волны» возмущения. Иллюстрация работы данного алгоритма представлена на рис. 2

Реализация такого принципа управления возможна при наличии компьютерной сети, связывающей центральный управляющий контроллер с контроллерами локальных систем.

В отличие от известной системы EXACT-level фирмы Outotec (Финляндия), решающей аналогичные задачи, разработанная авторами система, помимо адаптивного воздействия на регуляторы уровня пульпы, осуществляет корректировку количества подаваемых в данную операцию реагентов и технологического воздуха с учетом анализа количественных характеристик продукта питания. Техническая реализация разработанных решений заложена в проект реконструкции IV секции обогатительной фабрики ОАО «Учалинский ГОК».

Одним из важнейших параметров, контролируемых при флотации, является показатель pH среды. Как известно, для измерения концентрации ионов  $H^+$  в настоящее время применяют преимущественно стеклянные электроды.

Для обеспечения механической прочности стеклянных электродов при осуществлении измерений в промышленных условиях при высокой абразивности среды их армируют различными пластмассами (поливинилхлоридом, полипропиленом). Для установки армированных электродов в пульпе применяют специальную погружную арматуру.

При измерении pH сред, вызывающих образование мешающего осадка на мембране стеклянного электрода, должна быть обеспечена ее механическая очистка. Для этой цели некоторые модификации датчиков оснащают электрическими или механическими приводами. Известны также исполнения датчиков, очистку измерительной поверхности которых производят путем опрыскивания химическим веществ-

вом или воздействием ультразвукового поля.

Во многих подобных датчиках имеется возможность установки дополнительного датчика температуры, обычно платинового термометра сопротивления Pt-100 для автоматической температурной компенсации.

Большое внимание при разработке систем автоматики флотомашин уделяется и системам дозирования флотореагентов. Наибольшее распространение в настоящее время получили системы с импульсной подачей реагентов — в силу простоты реализации и относительной дешевизны. В качестве питателей в таких системах применяют клапаны с электрическим, пневматическим или комбинированным (электропневматическим) управлением, выполненные из коррозионноустойчивых материалов.

Недостатком систем такого рода является низкая точность дозирования, обусловленная влиянием на производительность питателей колебаний плотности, вязкости и давления дозируемой среды на входе, а также отсутствие возможности инструментального контроля фактических расходов реагентов.

Более совершенными являются системы дозирования, реализованные с использованием дозирующих диафрагмовых насосов. Большой диапазон производительности насосов, химическая стойкость материалов дозирующих органов, глубокий диапазон регулирования, высокая точность дозирования, возможность контроля и управления расходом со встроенного цифрового дисплея делают эти приборы чрезвычайно удобными для создания дозирующих установок практически любых конфигураций и назначения.

Большое внимание при разработке систем дозирования реагентов авторы уделяют дозированию такого специфического реагента, как известковое молоко. Основной проблемой, возникающей при дозировании данного реагента, является «заивестковывание» реагентопроводов и дозирующих органов. Для борьбы с этими явлениями разработаны конструкции питателей с



Рис. 3. Установка дозирования реагентов УДР-РПФ на базе дозирующих насосов

рабочими органами, приводимыми в действие пневматическими исполнительными механизмами, обеспечивающими непрерывное движение материала, что уменьшает вероятность образования нерастворимых налетов.

Современные системы дозирования на обогатительных фабриках представляют собой распределенные системы, включающие несколько десятков точек дозирования, управляемых с центрального пульта автоматизированного рабочего места (АРМ) флотатора. На монитор АРМ выводится мнемоническое отображение состояния работы питателей, а также информация, позволяющая флотатору контролировать и задавать расходы реагентов по точкам дозирования, контролировать запасы реагентов в расходных чанах, учитывать расходы реагентов за установленные промежутки времени (за час, с начала смены и т. п.), архивировать режимы дозирования.

Пример реализации системы дозирования реагентов на базе дозирующих насосов приведен на рис. 3.

Более подробную информацию о технических решениях, связанных с дозированием реагентов, см. в статье А. А. Трушина (Горный

журнал. — 2008. — Специальный выпуск).

Особое место в системах управления технологическим процессом занимает активно развиваемое ведущими производителями флотационного оборудования перспективное направление — применение систем технического зрения. О разработке такого рода систем заявили компании Metso Minerals (система VisioFroth™) и Outotec (система Froth Master™).

В основе принципов построения систем технического зрения лежат математические алгоритмы анализа изображения. Эти видеосистемы, сканирующие поверхность ленточного слоя, снимаемого с флотомашин, позволяют определять такие параметры, как скорость и стабильность съема пены, размер и распределение пузырьков на ее поверхности, степень их минерализации и цветные характеристики. Информация, генерируемая такой системой, имитирующей человеческое зрение, может быть использована для построения алгоритмов автоматического управления, что, в свою очередь, позволяет формализовать алгоритм принятия решения и значительно минимизировать влияние «человеческого фактора» в управлении технологическим процессом.

вом или водонепроницаемым уплотнительного поля.

Во многих подобных датчиках имеется возможность установки дополнительного датчика температуры, обычно платинового термометра сопротивления Pt-100, для автоматической температурной компенсации.

Большое внимание при разработке систем автоматики флотомашин уделяется и системам дозирования флотореагентов. Наибольшее распространение в настоящее время получили системы с импульсной подачей реагентов — в силу простоты реализации и относительной дешевизны. В качестве питателей в таких системах применяют клапаны с электрическим, пневматическим или комбинированным (электропневматическим) управлением, выполненные из коррозионноустойчивых материалов.

Недостатком систем такого рода является низкая точность дозирования, обусловленная влиянием на производительность питателей колебаний плотности, вязкости и давления дозируемой среды на входе, а также отсутствие возможности инструментального контроля фактических расходов реагентов.

Более совершенными являются системы дозирования, реализованные с использованием дозирующих диафрагмовых насосов. Большой диапазон производительности насосов, химическая стойкость материалов дозирующих органов, глубокий диапазон регулирования, высокая точность дозирования, возможность контроля и управления расходом со встроенного цифрового дисплея делают эти приборы чрезвычайно удобными для создания дозирующих установок практически любых конфигураций и назначения.

Большое внимание при разработке систем дозирования реагентов авторы уделяют дозированию такого специфического реагента, как известковое молоко. Основной проблемой, возникающей при дозировании данного реагента, является «заивствокывание» реагентопроводов и дозирующих органов. Для борьбы с этими явлениями разработаны конструкции питателей с



Рис. 3. Установка дозирования реагентов УДР-РПФ на базе дозирующих насосов

рабочими органами, приводимыми в действие пневматическими исполнительными механизмами, обеспечивающими непрерывное движение материала, что уменьшает вероятность образования нерастворимых налетов.

Современные системы дозирования на обогатительных фабриках представляют собой распределенные системы, включающие несколько десятков точек дозирования, управляемых с центрального пульта автоматизированного рабочего места (АРМ) флотатора. На монитор АРМ выводится мнемоническое отображение состояния работы питателей, а также информация, позволяющая флотатору контролировать и задавать расходы реагентов по точкам дозирования, контролировать запасы реагентов в расходных каналах, учитывать расходы реагентов за установленные промежутки времени (за час, с начала смены и т. п.), архивировать режимы дозирования.

Пример реализации системы дозирования реагентов на базе дозирующих насосов приведен на рис. 3.

Более подробную информацию о технических решениях, связанных с дозированием реагентов, см. в статье А. А. Трушина (Горный

журнал. — 2008. — Специальный выпуск).

Особое место в системах управления технологическим процессом занимает активно развиваемое ведущими производителями флотационного оборудования перспективное направление — применение систем технического зрения. О разработке такого рода систем заявили компании Metso Minerals (система VisioFroth™) и Outotec (система Froth Master™).

В основе принципов построения систем технического зрения лежат математические алгоритмы анализа изображения. Эти видеосистемы, сканирующие поверхность пенного слоя, снимаемого с флотомашин, позволяют определять такие параметры, как скорость и стабильность съема пены, размер и распределение пузырьков на ее поверхности, степень их минерализации и цветные характеристики. Информация, генерируемая такой системой, имитирующей человеческое зрение, может быть использована для построения алгоритмов автоматического управления, что, в свою очередь, позволяет formalизовать алгоритм принятия решения и значительно минимизировать влияние «человеческого фактора» в управлении технологическим процессом.



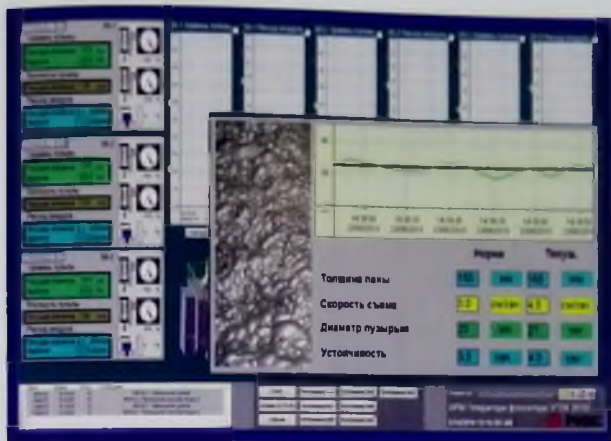


Рис. 4. Система технического зрения «Пена»

Внедрение подобных систем на ряде зарубежных обогатительных фабрик подтверждает их высокую эффективность. Следует, однако, отметить, что создание такого уровня систем управления требует существенных финансовых затрат, так как связано с привлечением специалистов высокой квалификации и применением дорогостоящего аналитического и компьютерного оборудования с установленным пакетом программ систем технического зрения.

С учетом данных обстоятельств авторы предприняли попытки поиска альтернативных решений, позволяющих приблизиться к достижению эффектов, даваемых системами технического зрения, но в то же время более простых в реализации и менее дорогостоящих. Как было установлено в ходе исследований, большая часть параметров, генерируемых системами машинного зрения, может быть получена в результате анализа частотных свойств сигналов лазерных уровнемеров, сканирующих поверхность пенного продукта, снимаемого с флотомшины (рис. 4). Обработка выходных сигналов датчиков с использованием стандартного программного продукта для систем сбора данных, их анализа, обработки и визуализации — LabVIEW позволяет получить следующую информацию:

- толщину снимаемого пенного слоя;
- скорость съема пены;
- структуру пузырьков пены;
- устойчивость пенного слоя.

Для оценки цветовой характеристики пены могут быть применены стандартные датчики цвета, поставляемые рядом известных производителей оборудования такого типа.

Параметры контроля и управления, оперативно отражающие

изменение хода технологического процесса, могут служить основой для построения экспертной системы с обратной связью, которая обеспечивает постоянное управление всеми флотационными машинами, когда любая порча характера пеносъема своевременно фиксируется и оперативно устраняется.

Наиболее эффективное оценивание сигнала технических средств автоматизации применительно к процессу флотации возможно при их комплексной реализации в составе автоматизированных систем управления технологическим процессом АСУТП. Одним из важнейших элементов, без которых не может быть построена современная АСУТП, является система визуализации процесса (SCADA). Поэтому понятно то большое внимание, которое уделяется специалистами в области автоматизации разработке именно таких систем.

Одной из последних разработок, выполненных специалистами по автоматизации ЗАО «НПО «РИВС» является создание SCADA — системы для флотационного передела обогатительной фабрики ГОКа «Бор-Ундур» (Монголия) на базе программного пакета WinCC. Основными достоинствами системы является наличие таких функций, как полная

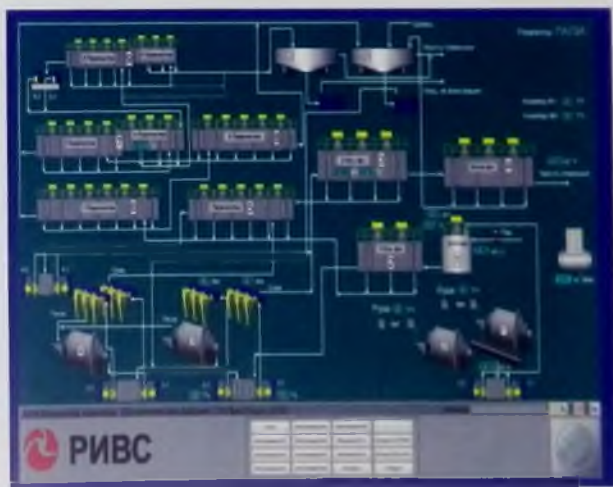


Рис. 5. Фрагмент АРМ оператора флотационного передела

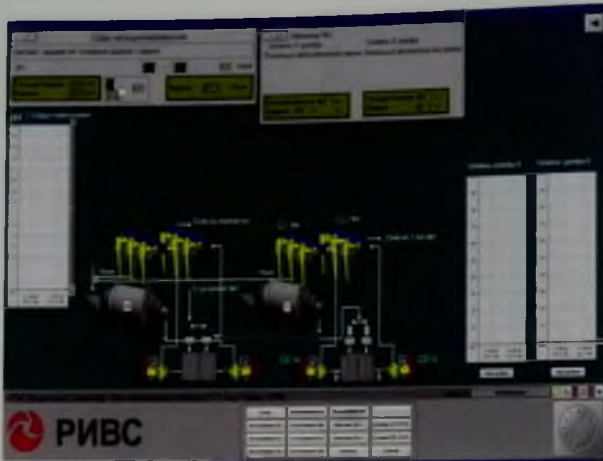


Рис. 6. Фрагмент АРМ технолога участка измельчения

графическая визуализация процесса и его состояний, создание отчетов и квидирование событий, регистрация значений измеряемых параметров и сообщений, архивирование данных. Система непрерывно регистрирует последовательность операций и событий, влияющих на качество управления технологическим процессом, что позволяет осуществлять постоянный контроль эффективности управления. Таким образом, SCADA-система является частью комплексной системы автоматизации, осуществляющей полное интегрирование отдельных компонентов автоматизации — от контроллеров локальных систем, распределенных периферийных устройств до операторских систем, являющихся «окнами» в технологи-

ческий процесс фабрики. Отдельные фрагменты визуального представления информации приведены на рис. 5 и 6.

#### Заключение

Анализ современных достижений в области автоматизации демонстрирует наличие реальных резервов повышения эффективности автоматизированного управления процессом флотации за счет применения современных средств контроля технологического процесса, компьютерной обработки и централизованного представления технологическому персоналу информации, необходимой для принятия оперативных решений.

Дальнейшее перспективное развитие работ в этой сфере, помимо совершенствования тех-

нических средств, должно быть направлено, по мнению авторов, на решение задач управления технологическими процессами в замкнутом цикле без участия человека, с учетом текущих качественных-количественных характеристик перерабатываемых руд. □

Трушин Алексей Алексеевич,  
e-mail: rivs@rivs.ru

Седов Алексей Викторович,  
тел.: (812) 493-34-80

Лыбиченко Андрей Андреевич,  
тел.: (812) 493-34-80

Никандров Илья Сергеевич,  
тел.: (812) 493-34-80

#### SYSTEMS OF AUTOMATIC REGULATION OF FLOTATION PROCESS MANUFACTURED BY "NPO "RIVS"

Trushin A. A., Sedov A. V.,  
Lyubichenko A. A., Nikandrov I. S.

Overlook of the progress in the area of automation of flotation process, owing to usage of modern control remedies, PC data processing and centralized presentation of information for technological staff has been presented. Progress of "NPO "RIVS" in solving of such problems have been shown.

*Key words: flotation machine, froth skimming, pulp level, air consumption, aeration, consumption of reagents, automatic management and control.*

УДК 622.7.002.5

А. В. БОНДАРЕНКО (ЗАО «НПО «РИВС»)

## ВАРИАНТ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПУЛЬП



А. В. БОНДАРЕНКО  
руководитель Аналитического центра,  
зам. генерального директора,  
канд. техн. наук

Метод рентгеноспектрального анализа (РСА) по характеристическому флуоресцентному излучению (РФ-спектрометрия) лежит в основе широкой номенклатуры приборов, аналитических комплексов и автоматизированных (или полностью автоматических) систем аналитического контроля (АСАК) различных технологических процессов. На горно-обогатительных предприятиях АСАК на базе пульповых и порошковых РФ-спектрометров или анализаторов позволяют эффективно решать следующие основные задачи [1]:

- контроль качества руд в целях эксплуатационной разведки, оперативного подсчета запасов и управления процессами добычи в рудниках открытых работ для последующей переработки в режиме усреднения или по технологическим сортам;
- контроль технологических процессов обогащения с целью оперативного управления;
- расчет технико-экономических показателей, включая технологический и товарный баланс, на основе информации о содержании полезных компонентов в исходной руде и продуктах ее обогащения;
- контроль качества товарных концентратов с целью предварительной оценки их сортности и формирования отгружаемых партий;
- контроль исследовательских проб в ходе совершенствования технологий добычи и переработки руд.

В настоящей статье рассмотрены лишь некоторые проблемы, связанные с построением автоматических систем аналитического контроля пульп на горно-обогатительных предприятиях.

Основным элементом (ядром) любой АСАК является анализатор. Исходя из этого, все остальное оборудование, программно-технические средства, различные виды обеспечения системы при несомненной их важности можно рассматривать как своего рода инфраструктуру, способствующую получению итоговой аналитической информации — достоверных результатов

*Рассмотрены особенности различных автоматических систем аналитического контроля пульповых продуктов. Приведена экспериментальная оценка возможностей современных энерго- и вольтадисперсионных рентгеновских спектрометров при анализе пульп с низкими концентрациями определяемых элементов в условиях значительной вариации мешающих факторов. Показана возможность эффективного применения энергодисперсионных спектрометров или их основных компонентов — миниатюрных рентгеновских трубок и компактных устройств детектирования и анализа рентгеновских квантов в промышленных системах аналитического контроля пульп.*

**Ключевые слова:** минеральная пульпа, содержание компонентов, аналитический контроль, автоматические системы, рентгеновские спектрометры.

определения содержания элементов в рудах и продуктах их переработки. В отличие от многообразия рентгеновских анализаторов, предназначенных для анализа порошковых или таблетированных проб, в настоящее время число типов промышленных анализаторов пульповых проб достаточно ограничено. Вместе с тем существует несколько альтернативных подходов к построению АСАК пульп на их основе. Более того, как правило, тип анализатора пульп в значительной мере предопределяет вариант построения системы — централизованная или децентрализованная.

Примером энергодисперсионных РФ-анализаторов, использующих в качестве источника первичного рентгеновского излучения радионуклиды, являются погружные (поточные) зонды типа AnStat корпорации Thermo Scientific (ранее — Thermo Gamma-Metrics, AmdeI). Измерительные устройства таких анализаторов вместе с блоками управления устанавливают непосредственно на технологических агрегатах и емкостях — точках контроля технологического процесса. Группу погружных зондов и блоков местного управления объединяют в децентрализованную АСАК. Передача информации осуществляется в общий информационно-вычислительный центр на базе персональных компьютеров. Предполагается, что такая система не нуждается в устройствах отбора и транспортирования проб, источниках высокого напряжения и содержит минимум исполнительных механизмов. Вместе с тем кажущаяся простота организации подобной АСАК при более детальном рассмотрении обуславливает целый ряд трудно-разрешимых и противоречивых проблем:



- результаты анализов существенно зависят от места расположения измерительного устройства в технологическом потоке, в связи с чем необходимо принимать меры по созданию искусственной турбулентности в зоне анализа с помощью различного рода мешалок. а это, помимо объективной сложности и затрат, влечет за собой аэрацию потока и появление дополнительных погрешностей;

- налипания пульпы на измерительное окно при глубине выхода флуоресцентного излучения (аналитического сигнала), как правило, не более 100–200 мкм (1–2 слоя частиц твердой фазы) приводит к получению стабильных, но в значительной мере недостоверных результатов; организация регламентированной и прежде всего своевременной промывки (водой и слабым раствором кислоты) измерительного устройства с предварительным подъемом зонда из зоны анализа крайне затруднительна;

- выход первичного излучения (фотон/с) радионуклида, возбуждающего вторичное (флуоресцентное) излучение (аналитический сигнал), на несколько порядков ниже, чем дает рентгеновская трубка;

- известные анализаторы подобного типа имеют сравнительно большие значения разрешения аналитических линий и пределов обнаружения, что особенно сказывается при анализе пульп с низкими содержаниями определяемых элементов, а также в условиях взаимного влияния элементов с близкими атомными номерами;

- определенные сложности для эксплуатационного персонала представляет использование радиоизотопных источников ионизирующего излучения, а также полупроводниковых детекторов (ППД), требующих охлаждения жидким азотом;

- концепция создания подобных децентрализованных систем, предусматривающая в качестве одного из достоинств отсутствие подсистем (линий) автоматического отбора и доставки проб, вступает в противоречие с необходимостью таких линий при проведении градуировки и текущего метрологического контроля анализатора, а также опробования балансовых продуктов; действительно, выполнить вручную отбор, накопление, доставку и обезвреживание градуировочных, контрольных и балансовых пульповых проб без нарушения требований представительности практически невозможно.

Перечисленные проблемы существенно повлияли на тот факт, что АСАК подобного типа не получили широкого распространения на горно-обогатительных предприятиях.

На многих обогатительных фабриках используются АСАК на основе однокюветных рентгеновских анализаторов типа «Курьер» различных модификаций финской компании Outotec (ранее — Outokumpu Mintec) с мультиплексированием потоков контролируемых пульп. Эти многоканальные кристалл-дифракционные РФ-спектрометры с рентгеновскими трубками обладают достаточно высокой надежностью и привлекают производителей в основном комплексным подходом компании-производителя к поставке полнофункциональной АСАК — от отбора проб до выдачи результатов анализа. Данная система может быть построена по централизованной

или распределенной архитектуре, т. е. с объединением всех или некоторых точек контроля на один анализатор. Вместе с тем система имеет следующие ограничения:

- отбор проб осуществляется, как правило, с помощью щелевых пробоотборников, не обеспечивающих требуемую представительность опробованных пульповых (особенно балансовых) продуктов;

- доставка проб к анализатору самолетом, анонсируемая как исключительно простая, на самом деле включает несколько важных моментов:

- доставка осуществляется непрерывно, причем требуемый объем пульпы составляет 70–300 л/мин, что не так уж мало, особенно для небольших обогатительных переделов, и, кроме того, приводит к необходимости применения дополнительного сложного механического оборудования — мультиплексоров, демультиплексоров и т. п.; подобная доставка трудноосуществима при значительном территориальном разбросе точек контроля на больших предприятиях, и тогда приходится применять перекачивающие насосы;

- отбираемые первичные пробы большого объема необходимо адресно возвратить в процесс, для чего требуются дополнительные перекачивающие насосы, причем на каждый опробуемый продукт;

- высокая вероятность взаимного «заражения» разнородных проб на единственной измерительной кювете и общем для всех продуктов отборном устройстве для градуировочных и контрольных проб.

Широкое распространение на горно-обогатительных предприятиях получила централизованная система на основе кристалл-дифракционных РФ-анализаторов типа AP-31 (аналог ранее выпускавшегося спектрометра для анализа пульп в потоке СРМ-13) производства НПП «Буревестник» (г. Санкт-Петербург). Системы на основе анализаторов СРМ-13 и AP-31 ранее были внедрены на многих предприятиях. При этом на некоторых из них (например, ОАО «Гайский ГОК и СП «Эрданэт») ресурс эксплуатируемых анализаторов AP-31 составляет более 18 лет. Опыт эксплуатации первых вариантов АСАК на флотационных переделах Лениногорского ПМК (Риддерский ГОК), Гайского ГОКа, ОАО «ГМК «Норильский никель» и ГОКа «Эрданэт» (ООО «Предприятие «Эрданэт») позволил убедиться не только в их высокой эффективности, но и определить пути их дальнейшего совершенствования как в аппаратном и программно-техническом, так и методико-математическом аспектах [2–4]. В последующем развитию данных АСАК способствовало появление нового оборудования и программно-технических средств [5–8]. Современная централизованная АСАК технологических пульп представляет собой единый интегрированный комплекс оборудования, программно-технических и методико-метрологических средств для автоматического выполнения следующих основных операций:

- представительного опробования контролируемых потоков пульп;

- пневмотранспортирования пульповых проб к месту установки анализатора;

- формирования экспрессных и накопленных (контрольных и балансовых) проб;

- экспрессного анализа;
- обработки, хранения и передачи аналитической информации различным потребителям.

Подобная АСАК может успешно функционировать как отдельная система, так и в составе автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) и современного IT-продукта — лабораторной информационной системы [8]. В основу методико-математического обеспечения АСАК положены унифицированные решения по настройке, градуировке, проведению анализа и метрологического контроля анализаторов [4, 6]. Это позволяет без существенных затрат расширять номенклатуру контролируемых пульп, обеспечивать ускоренный ввод новых рентгеновских комплексов и осуществлять их функциональное резервирование. Концепция построения АСАК на основе принципов унификации предусматривается при создании аналитических систем для горно-обогатительных предприятий, проектируемых или реконструируемых СП ЗАО «ИВС» (ЗАО «НПО «РИВС»).

Несмотря на фактически выявленные преимущества централизованной системы на основе анализатора типа AP-31 над другими, она не лишена некоторых недостатков:

- модернизация анализатора AP-31 в части блоков управления анализатором, регистрации и обработки аналитических сигналов на основе программируемых логических контроллеров практически не затронула спектрметрический узел в отношении улучшения характеристик кристалл-дифракционных каналов; более того, значения аналитических параметров каналов (контрастности и предел обнаружения) AP-31 оказались хуже аналогичных значений, достигнутых на предшествующей модели — СРМ-13;
- используемая мощная рентгеновая трубка (порядка 3,5 кВт) требует организации контура водного охлаждения и, кроме того, наряду с большими габаритами других блоков анализатора предопределяет (согласно нормам радиационной безопасности) необходимость в значительном по площади и объему помещении;
- наличие 15 проточных измерительных кювет на массивной станине — несомненный положительный фактор для предприятий с большим числом точек контроля — становится избыточным и экономически нецелесообразным для небольших производств, организация технологии которых, согласно нашему опыту, требует 3–5 (максимум 10) точек оперативного опробования и аналитического контроля.

Анализ современных АСАК пульп в потоке свидетельствует о необходимости поиска дальнейших путей развития этого направления и прежде всего — анализатора как основного компонента системы.

Известно, что по способу разложения (дисперсии) флуоресцентного и рассеянного излучения в спектр рентгеновские анализаторы делятся на энергодисперсионные и волнодисперсионные. В последние годы интенсивно развивается энергодисперсионный способ. Этому в значительной степени способствовало появление новейших ППД с одно- и многокаскадным электроохлаждением на основе эффекта Пельтье (не требующих жидкого азота), миниатюрных и маломощных рент-

геновских трубок (не требующих водного охлаждения), а также развитие микропроцессорных анализаторов импульсного и эффективные способы математической обработки полученных в результате измерений рентгеновских спектров. В специальной литературе часто встречается противоречивые данные относительно возможностей энергодисперсионного РСА на основе ППД, особенно при анализе многокомпонентных гетерогенных сред. В таких случаях существует единственный надежный способ получения достоверной информации — проведение соответствующих экспериментальных исследований.

Цель настоящей исследования — сопоставительная оценка различных способов рентгеноспектрального определения низких содержаний определяемых элементов в присутствии многократно превышающих содержания мешающих элементов в гетерогенной твердой фазе при значительной вариации ее крупности и содержания в пульпе.

Оценку возможностей энерго- и волнодисперсионных спектрометров проводили с использованием моделей технологических пульп одного из горно-обогатительных предприятий. Модели пульп представляли собой таблетированные смеси порошковых проб реальных продуктов и мелкодисперсной борной кислоты, близкой по основным рентгеноспектральным характеристикам к воде и использованной для моделирования вариации содержания твердой фазы  $C_{тв}$  в пульпе. Обобщенные по исследованному продуктам диапазоны содержания определяемых элементов Ni и Cu в твердой фазе пульп составляли 0,09–2,88 и 0,06–2,86 % при вариации содержания Fe — от 9,1 до 49,4 % и твердой фазы — от 10 до 50 %. Крупность частиц твердой фазы по классу –44 мкм составляла 26–73 %. Следует отметить ключевую роль эффекта гетерогенности при РСА данных пульп. Влияние и учет данного фактора при РСА продуктов обогащения руд рассмотрены в [1, 5]. Таким образом, для сопоставительной оценки возможностей способов РСА выбраны достаточно сложные объекты анализа.

Возможности волнодисперсионного способа РСА исследовали с применением следующих анализаторов:

- лабораторного сканирующего кристалл-дифракционного спектрометра «Спектроскан» МАКС G ([www.spectron.ru](http://www.spectron.ru));
  - промышленного анализатора AP-31 с фиксированными кристалл-дифракционными каналами ([www.bouvesinik.ru](http://www.bouvesinik.ru));
  - промышленного анализатора «Курьер-30» с фиксированными кристалл-дифракционными каналами — прототип анализатора «Курьер-5» ([www.outotec.com](http://www.outotec.com)).
- Возможности энергодисперсионного способа РСА исследовали с помощью следующих анализаторов:
- опытного образца лабораторного анализатора «Спектроскан-ППД» с интегрированной системой детектирования (Si-PIN) и микропроцессорного амплитудного анализатора импульсов в едином компактном корпусе типа X-123 ([www.amptek.com](http://www.amptek.com));
  - лабораторного анализатора ElvaX ([www.elvatech.com](http://www.elvatech.com));
  - портативного анализатора многоцелевого назначения Alpha ([www.innovx.com](http://www.innovx.com)).

- экспрессного анализа;
- обработки, хранения и передачи аналитических информации различным потребителям.

Подобная АСАК может успешно функционировать как отдельная система, так и в составе автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) и современного IT-продукта — лабораторной информационной системы [8]. В основу методикоматематического обеспечения АСАК положены унифицированные решения по настройке, градуировке, проведению анализа и метрологического контроля анализаторов [4, 6]. Это позволяет без существенных затрат расширять номенклатуру контролируемых пульв, обеспечивать ускоренный ввод новых рентгеновских комплексов и осуществлять их функциональное резервирование. Концепция построения АСАК на основе принципов унификации предусматривается при создании аналитических систем для горно-обогатительных предприятий, проектируемых или реконструируемых СП ЗАО «ИВС» (ЗАО «НПО «РИВС»).

Несмотря на фактически выявленные преимущества централизованной системы на основе анализатора типа AP-31 над другими, она не лишена некоторых недостатков:

- модернизация анализатора AP-31 в части блоков управления анализатором, регистрации и обработки аналитических сигналов на основе программируемых логических контроллеров практически не затронула спектротрический узел в отношении улучшения характеристик кристалл-дифракционных каналов; более того, значения аналитических параметров каналов (контрастность и предел обнаружения) AP-31 оказались хуже аналогичных значений, достигнутых на прешевствующей модели — СРМ-13;
- используемая мощная рентгеновая трубка (порядка 3,5 кВт) требует организации контура водяного охлаждения и, кроме того, наряду с большими габаритами других блоков анализатора предопределяет (согласно нормам радиационной безопасности) необходимость в значительном по площади и объему помещении;
- наличие 15 проточных измерительных кювет на массивной станции — несомненный положительный фактор для предприятий с большим числом точек контроля — становится избыточным и экономически нецелесообразным для небольших производств, организация технологии которых, согласно нашему опыту, требует 3–5 (максимум 10) точек оперативного опробования и аналитического контроля.

Анализ современных АСАК пульв в потоке свидетельствует о необходимости поиска дальнейших путей развития этого направления и прежде всего — анализатора как основного компонента системы.

Известно, что по способу разложения (дисперсии) флуоресцентного и рассеянного излучения в спектр рентгеновские анализаторы делятся на энергодисперсионные и волнодисперсионные. В последние годы интенсивно развивается энергодисперсионный способ. Этому в значительной степени способствовало появление новейших ППД с одно- и многокаскадным электроохлаждением на основе эффекта Пельтье (не требующих жидкого азота), миниатюрных и маломощных рент-

геновских трубок (не требующих водяного охлаждения), а также развитие микропроцессорных анализаторов и быстрое и эффективное способе математической обработки полученных в результате измерений детектированных спектров. В специальной литературе часто содержится противоречивые данные относительно возможностей энергодисперсионного РСА на основе ППД, особенно при анализе многокомпонентных гетерогенных сред. В таких случаях существует единственный надежный способ получения достоверной информации — проведение соответствующих экспериментальных исследований.

Цель настоящих исследований — сопоставительная оценка различных способов рентгеноспектрального определения низких содержаний определяемых элементов в присутствии многократно превышающих содержания мешающих элементов в гетерогенной твердой фазе при значительной вариации ее крупности: в содержания в пульве.

Оценку возможностей энерго- и волнодисперсионных спектрометров проводили с использованием моделей технологических пульв одного из горно-обогатительных предприятий. Модели пульв представляли собой таблетированные смеси порошковых проб реальных продуктов и мелкодисперсной борной кислоты, близкой по основным рентгеноспектральным характеристикам к воде и использованной для моделирования вариации содержания твердой фазы  $C_{10}$  в пульве. Обобщенные по исследованному продуктам диапазоны содержания определяемых элементов Ni и Cu в твердой фазе пульв составляли 0,09–2,88 и 0,06–2,86 % при вариации содержания Fe — от 9,1 до 49,4 % и твердой фазы — от 10 до 50 %. Крупность частиц твердой фазы по классу –44 мкм составляла 26–73 %. Следует отметить ключевую роль эффекта гетерогенности при PCA данных пульв. Влияние и учет данного фактора при PCA продуктов обогащения руд рассмотрены в [1, 5]. Таким образом, для сопоставительной оценки возможностей способов PCA выбраны достаточно сложные объекты анализа.

Возможности волнодисперсионного способа PCA исследовали с применением следующих анализаторов:

- лабораторного сканирующего кристалл-дифракционного спектрометра «Спектроскан» МАКС G ([www.spectron.ru](http://www.spectron.ru));
  - промышленного анализатора AP-31 с фиксированными кристалл-дифракционными каналами ([www.bouvestnik.ru](http://www.bouvestnik.ru));
  - промышленного анализатора «Курьер-30» с фиксированными кристалл-дифракционными каналами — прототип анализатора «Курьер-5» ([www.outotec.com](http://www.outotec.com)).
- Возможности энергодисперсионного способа PCA исследовали с помощью следующих анализаторов:
- опытного образца лабораторного анализатора «Спектроскан-ППД» с интегрированной системой детектирования (Si-PIN) и микропроцессорного амплитудного анализатора импульсов в едином компактном корпусе типа X-123 ([www.amptek.com](http://www.amptek.com));
  - лабораторного анализатора ElvaX ([www.elvatech.com](http://www.elvatech.com));
  - портативного анализатора многоцелевого назначения Alpha ([www.innovx.com](http://www.innovx.com)).



Измерение моделей пульпы проводили с использованием радиационно-устойчивой пленки из подэтилентерефталата толщиной 50 мкм, помещаемой между образцом и окном рентгеновской трубки (РТ). Режимы работы РТ и другие условия экспериментальных исследований соответствовали оптимально-возможным значениям для соответствующих приборов и объектов PCA.

Ниже приведены основные и наиболее характерные результаты исследований.

На рис. 1 показан участок спектра модели пульпы, измеренной на анализаторе «Спектроскан» МАКС G однозначно свидетельствующий о возможности раздельной физической идентификации близких аналитических линий флуоресцентного излучения  $\text{CuK}_\alpha$  и  $\text{NiK}_\alpha$ .

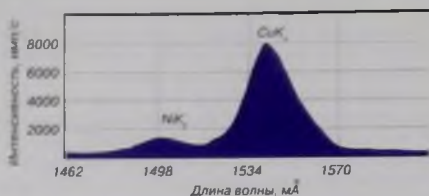


Рис. 1. Участок спектра флуоресцентного излучения, снятый на волнодисперсионном сканирующем спектрометре «Спектроскан» МАКС G

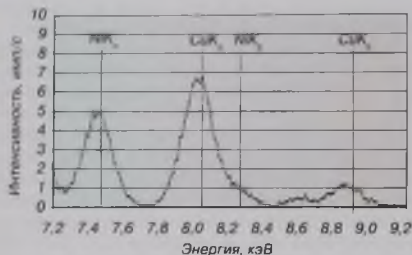


Рис. 2. Участок спектра флуоресценции, снятый на энергодисперсионном анализаторе «Спектроскан-ППД»

На рис. 2 представлен участок спектра для той же модели пульпы, измеренной на анализаторе «Спектроскан-ППД».

Из рис. 2 следует, что раздельная физическая идентификация близких линий  $\text{CuK}_\alpha$  и  $\text{NiK}_\alpha$  невозможна. Это свидетельствует о более низком разрешении энергодисперсионного способа по сравнению с кристалл-дифракцией или волновой дисперсией. Действительно, экспериментальная оценка разрешения для энергодисперсионных РФ-анализаторов «Спектроскан-ППД», ElvaX и Alpha на линии  $\text{FeK}_\alpha$ , составила, соответственно, 190, 180 и 230 эВ, а для кристалл-дифракционного анализатора «Спектроскан» МАКС G — 59 эВ. Вместе с тем следует отметить, что  $\text{K}_\beta$ -линии значительно слабее линий  $\text{K}_\alpha$ , которые обычно используются в качестве аналитических.

Так, соотношение интенсивностей указанных линий составляет  $I_{\text{CuK}_\alpha} / I_{\text{NiK}_\alpha} = 100/50/20$  и справедливо для всех спектров. Кроме того, в энергодисперсионном способе PCA достаточно развиты и эффективно применяются различные методы деконволюции рентгеновских спектров, т.е. разделения налагающихся друг на друга линий флуоресценции с выделением «чистых» пиков.

На рис. 3 показаны спектры рассеянного тормозного излучения рентгеновской трубки с Mo-анодом, снятые при измерении на анализаторе «Спектроскан» МАКС G моделей пульпы с одним и тем же вещественным составом твердой фазы, но разным ее содержанием в пульпе: 10% (а) и 50% (б).

На рис. 4 приведены спектры рассеянного тормозного излучения рентгеновской трубки с Mo-анодом, снятые при измерении на энергодисперсионном анализаторе «Спектроскан-ППД» моделей пульпы с разным вещественным составом или эффективным атомным номером  $Z_{\text{эф}}$  твердой фазы, но одинаковым содержанием в пульпе  $C_{\text{тв}}$  (50%).

Представленные на рис. 3 и 4 спектры свидетельствуют, что в условиях значительной вариации вещественного состава к выбору участка рассеянного тормозного излучения трубки в качестве корректирующего фактора или линии сравнения, например, при реализации способа стандарта-фона, следует подходить не так однозначно, как это обычно принималось ранее относительно некогерентной составляющей. Это подтверждается результатами исследований, выполненных как ранее [1, 5], так и сравнительно недавно [9]. В указанных работах приведены примеры эффективного использова-

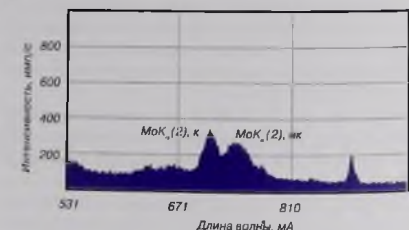
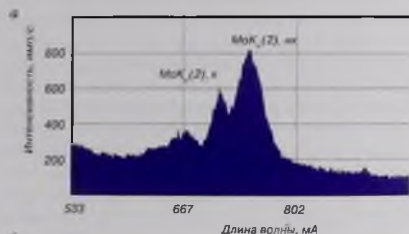


Рис. 3. Участок спектра рассеянного тормозного излучения, полученный на сканирующем кристалл-дифракционном спектрометре «Спектроскан» МАКС G (значение (2) указывает на 2-й порядок отражения, обусловленный конструктивными особенностями прибора; «к» и «нк» — соответственно, когерентно и некогерентно рассеянное излучение Mo-анода РТ)

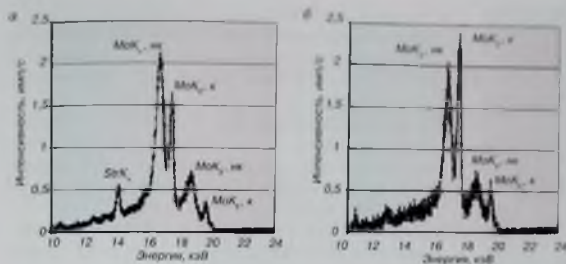


Рис. 4. Участок спектра рассеянного тормозного излучения, полученный на энергодисперсионном спектрометре «Спектроскан-ППД» ( $Z_{\text{эф}}$  (а) <  $Z_{\text{эф}}$  (б))

ния когерентной составляющей рассеянного излучения и различных соотношений рассеянного тормозного излучения для учета влияния мешающих факторов.

В таблице в качестве примера приведены обобщенные результаты, полученные при измерении на различных анализаторах моделей и реальных пульп самого «бедного» из исследованных продуктов — хвостов флотации.

Полученные значения суммарной погрешности PCA в большинстве случаев значимо не превышали допустимых параметров, установленных для контрольного (атомно-абсорбционного) метода при определении исследованных содержаний Ni и Cu в моделях пульп и составлявших 0,014–0,021 % (масс.). Исключение составили результаты измерений на анализаторе «Курьер-30» реальных пульп при более высоком содержании Ni и Cu. В целом достигнутые значения суммарной погрешности PCA вполне удовлетворяют требованиям, предъявляемым к оперативному контролю технологических процессов обогащения руд. С помощью дополнительных расчетных процедур установлено, что нижний предел обнаружения содержаний элементов, например Ni на анализаторе «Спектроскан» МАКС G составил в среднем 0,002 % (масс.), а на анализаторе «Спектроскан-ППД» — 0,003 % (масс.) при доверительности 0,95.

Таким образом установлено что для решения рассмотренной достаточно сложной аналитической задачи применим как кристалл-дифракционный (энергодисперсионный), так и энергодисперсионный способ PCA. При этом показаны достаточно высокие аналитические возможности миниатюрной современной системы типа X-123 (рис. 5) с полупроводниковым Si-PIN-детектором и микропроцессорным амплитудным анализатором импульсов.

К некоторому ограничению Si-PIN-детектора можно отнести сравнительно невысокую для многоэлементного PCA предельную интегральную нагрузку (до  $1 \cdot 10^5$  имп/с, а в наших исследованиях — до  $1,5 \cdot 10^4$  имп/с), при которой требуется увеличение экспозиции для надежной идентификации пиков некоторых аналитических линий. Указанное ограничение в полной мере относится и к другим исследованным энергодисперсионным анализаторам — ElvaX и Alpha. Более того, специализированное программное обеспечение анализатора ElvaX для некоторых проб не позволяло идентифицировать пик аналитической линии CuK $\alpha_1$  даже при экспозиции 100 с.

В последние годы разработаны принципиально новые кремниевые дрейфовые детекторы (SDD) с электроохлаждением на основе эффекта Пельтье, обеспечивающие энергетическое разрешение до 123 эВ (для энергии 5,9 кэВ), т. е. на уровне (и даже выше) лучших ППД, в том числе охлаждаемых жидким азотом, при более высоких интегральных нагрузках (до  $1 \cdot 10^6$  имп/с) и отношениях пик/фон (до 20000). Это позволило существенно расширить спектр контролируемых элементов и диапазон определяемых концентраций, а также сократить время анализа и повысить его точность. В настоящее время детекторы по SDD-технологии серийно выпускаются рядом компаний (например, Amptek, Innov-X Systems, Ketec GmbH, Oxford Instruments, Bruker AXS) и успешно применяются в лабораторных рентгенофлуоресцентных спектромет-

Оценка возможностей способов и приборов PCA

Способ PCA	Тип анализатора	Определяемый элемент — Ni			Определяемый элемент — Cu		
		$\bar{C}_{Ni}$ , % (масс.)	$S_{p-x}$ , % (масс.)	$V_{p-x}$ , % (отн.)	$\bar{C}_{Cu}$ , % (масс.)	$S_{p-x}$ , % (масс.)	$V_{p-x}$ , % (отн.)
Волновая дисперсия	«Спектроскан» МАКС G	0,11	0,005	4,5	0,075	0,006	8,0
	AP-31	0,11	0,006	5,5	0,075	0,004	5,3
	«Курьер-30»	0,18	0,020	11,1	0,15	0,023	15,3
Энергетическая дисперсия	«Спектроскан-ППД»	0,11	0,005	4,5	0,075	0,005	6,7
	ElvaX	0,11	0,006	5,5	0,075	0,009	12,0
	Alpha	0,11	0,006	5,5	0,075	0,005	6,7

Примечание. Приведенные значения абсолютной  $S_{p-x}$  и относительной  $V_{p-x}$  стандартной погрешности PCA достигнуты для средних содержаний  $\bar{C}$  определяемых элементов по двум-трем факторным нелинейным уравнениям связи [4] при измерении 20 проб — моделей пульп. Для анализатора «Курьер-30» приведены средние результаты с использованием массивов данных для 30 и 60 реальных пульповых проб технологического продукта — наиболее близкого аналога продукту, модели проб которого исследовали на других анализаторах.



Рис. 5. Внешний вид современной интегрированной системы полупроводникового детектирования и анализа рентгеновских квантов типа X-123 компании Amptec

раха с высоким разрешением, в энергодисперсионных спектрометрах для растровых и просвечивающих электронных микроскопов и микросондов, а также в промышленных портативных анализаторах различного специального назначения. С учетом того, что ППД служит одновременно анализатором и детектором рентгеновских квантов, появилась реальная возможность построения на базе новейшей SDD-технологии рентгеновского спектрометра для аналитического контроля сложных объектов — пульпы горно-обогатительного производства. Преимущества такого спектрометра по сравнению с исследованными в данной статье промышленными вариантами (AP-31 и «Курьер-30») могут заключаться в следующем:

- более широких аналитических возможностях;
- значительно меньших габаритах, массе и стоимости;
- более высокой степени надежности и безопасности.

Проведенная оценка аналитических возможностей компактной системы детектирования (Si-PIN) и анализа рентгеновских квантов типа X-123 в составе спектрометра «Спектроскан-ППД» позволяет обоснованно считать, что данная система, как и новейшая разработка компании Amptec — система X-123SDD, могут быть эффективно применены при PCA пульпы продуктов обогащения руд.

В заключение следует отметить, что создание энергодисперсионного анализатора пульпы в потоке на основе современных разработок в динамично развивающихся областях полупроводникового детектирования рентгеновских квантов, микропроцессорной и информационной технологий обработки результатов измерений представляет весьма перспективным направлением развития АСАК пульповых продуктов обогащения руд.

*Библиографический список*

1. Бондаренко А. В. К метрологической аттестации автоматизированных систем аналитического контроля на горно-обогатительных предприятиях // Обогащение руд. — 1990. — № 2.

2. Розочев И. М., Плотников Р. И., Крехнин Ю. С. и др. Рентгеноспектральный анализ потоков пульпы продуктов обогащения полиметаллических руд // Аппаратура и методы рентгеновского анализа. — Л.: Машиностроение, 1979. Вып. 22.

3. Бондаренко А. В., Ольховой В. А., Стеблич Л. Е. Промышленные испытания и опыт внедрения рентгеноспектральных методов анализа руд и продуктов обогащения на Талнахской обогатительной фабрике // Обогащение руд. — 1983. — № 6.

4. Бондаренко А. В. Рентгеноспектральная лаборатория горно-обогатительного предприятия «Эрданэт» // Обогащение руд. — 1989. — № 1.

5. Бондаренко А. В., Черкасова Г. С. Подсистема рентгеноспектрального аналитического контроля процесса обогащения на V секции обогатительной фабрики ГОКа «Эрданэт» // Обогащение руд. — 1989. — № 3.

6. Bondarenko A. V., Shutov S. E. X-ray spectrum analysis in mineral processing // Proceedings of the XXVI Krakowska Konferencja Naukowo-Techniczna Przerobki Kopalni, Poland, 1994.

7. Горшков Ю. В., Ольховой В. А., Бондаренко А. В. и др. Перспективные системы, средства автоматизации и аналитического контроля для обогатительных фабрик // Тез. докл. IV Конгресса обогатителей стран СНГ. — Т. 2. — М.: Альтекс, 2003.

8. Горшков Ю. В., Карамышев Н. И., Бондаренко А. В. и др. Особенности построения лабораторных информационных систем на предприятиях с непрерывным технологическим циклом // В сб.: Лабораторные информационные системы LIMS. — М.: Маркетинг. Информационные технологии, 2006.

9. Каминский Е. Ю. К вопросу об использовании при РСФ-анализе в качестве стандарта-фона рассеянного на пробе первичного излучения // Тез. докл. III Всеросс. конф. с междунар. участием «Аналитика России». — Краснодар, 2009. □

Бондаренко Александр Владимирович,  
e-mail: A\_Bondarenko@rivs.ru

**A VERSION OF DEVELOPMENT OF AUTOMATION SYSTEM OF ANALYTIC PULP CONTROL**

**Bondarenko A. V.**

Features of different automation systems for analytic control of pulp products have been considered. Experimental evaluation of possibilities of modern energy- and wave-dispersive X-ray spectrometers during analysis of pulp with low concentration of determined elements under the conditions of intense variation of obstructive factors has been presented. Possibility of efficient usage of energy-dispersive spectrometers or their main components — miniature X-ray tubes and compact devices for detection and analysis of X-ray quantum in industrial systems for analytic pulp control has been shown.

*Key words:* mineral pulp, component contents, analytic control, automatic system, X-ray spectrometers.



УДК 622.7.536.543.7

А. В. БОНДАРЕНКО (ЗАО «НПО «РИВС»)

## ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД В БОГАЩЕНИИ РУД



А. В. БОНДАРЕНКО,  
руководитель Аналитического центра,  
зам. генерального директора,  
канд. техн. наук

Термолюминесцентный метод (ТЛМ) успешно применяют в минералогии при изучении различных структурных, химических и генетических особенностей минералов [1, 2]. Развитие технологической (обогащительной) минералогии [3, 4], призванной решать задачу комплексной переработки различных руд, способствовало дальнейшему развитию ТЛМ. Причины этого заключаются в физических основах ТЛМ, который отличается от других люминесцентных методов (фото-, катодо-, рентгенолюминесценции) простотой измерений, высокой чувствительностью и информативностью. Высокая чувствительность метода к структурным дефектам, радиационным электронно-дырочным центрам различного типа природных минералов создает трудности при интерпретации ТЛ-спектров. Вместе с тем данная характеристика метода является крайне необходимой для выявления типоморфных признаков и свойств, присущих минералам определенных классов и групп [5]. Кроме того, при реализации некоторых способов (условий отбора и подготовки образцов, режимов измерений и алгоритмов обработки ТЛ-спектров и т. д.) можно достаточно эффективно использовать высокую чувствительность и информативность метода. Приведенные в статье примеры возможностей ТЛМ при обогащении руд являются иллюстрацией этого положения.

Известны способы определения фазового состава и структурных особенностей минерального сырья на основе ТЛМ [1, 2]. Недостатком этих способов является отсутствие возможности определения таких важных технологических параметров, как реакционная активность минерального сырья и его дисперсность.

В [3] предложен новый кристаллофизический аспект развития технологической минералогии, который позволяет на основе оценки изменчивости структурных параметров минералов прогнозировать их технологические свойства. Отмечено, что многие технологические свойства минералов можно изменять в заданном направлении, подвергая минерал различным воздействиям: температурным, механическим,

*Рассмотрены возможности термолюминесцентного метода в обогащении руд. Предложены способы экспрессной термолюминесцентной оценки реакционной активности, идентификации технологического типа руд и определения их дисперсности в процессе переработки.*

**Ключевые слова:** обогащение руд, технологический тип, дисперсность, реакционная способность, термолюминесцентная оценка.

химическим, радиационным и др., создавая или уничтожая в них разнообразные дефекты. Теория направленного изменения технологических свойств минералов основана на том, что их физические, физико-химические и химические свойства зависят от дефектов кристаллической решетки даже в большей степени, чем от состава и структуры минералов. Действительно, многочисленные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что степень изменения физико-химических свойств изменяемых минералов обусловлена интенсивностью механических воздействий, которые вносят сильные искажения в структуру кристаллов, вплоть до их аморфизации. При этом способность структуры кристалла вмещать предельное число дефектов до ее фазового перехода в другую полиморфную модификацию, аморфное или расплавленное состояние предложено называть *дефектоемкостью* [6]. Структурные дефекты любых видов, возникающие при деформациях, являются аккумуляторами избыточной энергии. Чем выше значение этой энергии, тем больше реакционная активность минералов, определяющая выбор оптимальной схемы технологической переработки полезных ископаемых. Однако в каждом конкретном случае необходимо учитывать тот предел, при котором механическая активация дает положительный эффект. Чрезмерное измельчение и деформация минералов приводят к обратному результату: извлечение полезных компонентов падает по разным причинам, включая сильную агрегацию обломочных малых частиц (ОМЧ) размером менее 10 мкм. Изложенный в [3] подход имеет существенное значение не только для разработки оптимальных схем обогащения руд, но и для создания автоматизированных систем аналитического контроля (АСАК) и управления технологическими процессами (АСУТП) на горно-обогащительных предприятиях.

Для минералов в состоянии ОМЧ метод ТЛ оказался одним из наиболее информативных и удобных в качестве экспрессного метода контроля реакционной активности технологических проб [3, 7]. Для исследо-

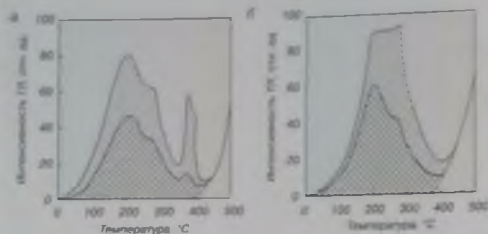


Рис. 1. К идентификации типа руды

вания методом ТЛ требуется малое количество порошкового материала (примерно 10 мг), которое на соответствующей установке подвергают нагреву с регулируемой скоростью, например 5 °С/с, и регистрации зависимости интенсивности термолюминесценции от температуры нагревания. Последующий анализ ТЛ-спектра позволяет выявить структурные и размерные эффекты изменчивости реакционной активности минералов. При этом различие реакционной активности проб наиболее контрастно проявляется при вторичной «накачке» дефектов — радиационном облучении образцов. Установлено, что реакционная активность крупнозернистой пробы не испытывала заметных изменений в течение многих месяцев, в то время как отдельные фазы ОМЧ обнаружили многократное падение реакционной активности за интервал хранения всего в несколько минут. Полученные ТЛ-спектры позволили установить корреляционные зависимости реакционной активности от структурных, размерных и временных параметров. Найденные зависимости позволяют прогнозировать направленность технологических реакций отдельных фаз ОМЧ. При этом, например, временной фактор может оказывать существенное влияние на эффективность различных переделов технологии обогащения руд.

В рамках «ноу-хау» предложен способ экспрессной количественной оценки реакционной активности минерального сырья, включающий специальные и вместе с тем достаточно простые подготовительные операции, облучение порошкового материала проб рентгеновскими или  $\gamma$ -квантами определенной энергии и ТЛ-спектрометрию. Предложенный критерий оценки реакционной активности минерального сырья прошел успешную проверку на различных полиминеральных порошковых технологических пробах. Временное ограничение при реализации способа составляет около 30 мин после отбора проб, что, по-видимому, обусловлено аннигиляцией дефектов измельченного материала и в первую очередь ОМЧ крупностью менее 10 мкм. В связи с этим несложно предположить, что при достаточно низкой концентрации таких частиц временным ограничением можно пренебречь.

В результате исследований установлено, что интенсивность ТЛ предварительно облученного порошкового материала зависит не только от его фазового состава, физико-химических особенностей и собственных дефектов в структуре минералов, но и от дефектов, привнесенных в результате механических воздействий. Можно предположить, что число таких дефектов будет пропорционально степени измельчения или крупности частиц  $D$  измельченного материала. Это может быть контрастно выявлено, например, с помощью наложенного облучения рентгеновскими или  $\gamma$ -квантами определенной энергии. Действительно, как показали результаты дальнейших исследований, если форма огибающей кривой ТЛ-спектра в большей степени характеризует тип перерабатываемой руды, то величина площади под огибающей кривой — гранулометрический состав измельченного и предварительно облученного порошкового материала. В качестве примера на рис. 1, а, б приведены ТЛ-спектры порошков различных технологических сортов (типов) руды различной крупности.

Каждый тип руды обладает своими особенностями, что предопределяет применение гибкой технологии переработки. При проведении исследований для одного из месторождений использовали реальные порошковые пробы медно-никелевых руд трех технологических сортов. Для каждого из них по 10–15 порошковым пробам, охватывающим диапазон крупности частиц от 30 до 100 % класса –44 мкм, после предварительного облучения и измерения ТЛ-спектров строили градуировочные зависимости  $I_{ТЛ} = f(D)$ . Зависимости аппроксимировали прямыми, обеспечивающими стандартную погрешность не более 3 % (отн.). Это значение соответствовало уров-

**К идентификации типа руды и определения дисперсности порошковых проб**

Номер типа руды	Номер пробы	Средний линейный размер частиц, мкм	Содержание класса –44 мкм, %	Интенсивность ТЛ, отн. ед	
				без облучения пробы	с облучением пробы
1	1	57	15,2	0,9	24
	2	40	37,7	0,7	30
	3	32	51,2	1,2	37
	4	27	62,3	1,3	35
	5	21	81,2	0,9	43
	6	16	97,8	1,3	48
2	1	47	34,2	19	33
	2	33	53,3	19	36
	3	26	66,5	20	39
	4	23	75,0	19	38
	5	18	89,9	21	40
	6	16	97,8	22	41
3	1	60	12,8	4,4	6,0
	2	49	23,7	4,7	13
	3	41	34,3	5,0	23
	4	37	42,0	4,6	27
	5	32	51,6	6,5	31
	6	26	65,0	5,0	36

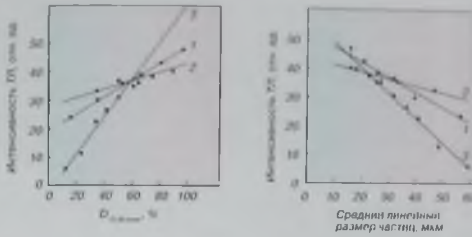


Рис. 2. К определению крупности частиц в порошковых пробах

ню воспроизводимости результатов традиционного ситового анализа. В качестве критерия идентификации вида сырья служили значения  $I_{ТЛ}$ , усредненные по результатам измерений градуировочных проб без их предварительного облучения и составлявшие для типов руды № 1, 2 и 3 соответственно 1, 20 и 5. В таблице и на рис. 2 приведены наиболее характерные результаты измерений для шести контрольных проб каждого типа (сорта) руды.

Представленные в таблице результаты измерений контрольных проб вполне адекватно согласуются с предварительно построенными градуировочными зависимостями (прямыми)  $I_{ТЛ} = f(D)$ , приведенными на рис. 2. Диапазон крупности частиц в исследованных реальных пробах отражал возможную технологическую вариацию, представленную как в виде процентного содержания класса – 44 мкм, так и в виде рассчитанного (согласно [8]) среднего линейного размера частиц. Как видно (см. таблицу), значения  $I_{ТЛ}$  проб без предварительного облучения служат надежным идентификатором технологического сорта руды. Действительно, если среднее соотношение  ${}^2I_{ТЛ} / {}^1I_{ТЛ}$  для порошков руды первого и второго типа, но примерно одинаковой дисперсности, без предварительного облучения составляет 20, то после облучения — не более 1,5. Напротив, для определения дисперсности порошковых проб требуется предварительное облучение перед ТЛ-контролем. Так, если соотношение  $D = \frac{D_{\min} I_{ТЛ}}{D_{\max} I_{ТЛ}}$  для порошков руды одного типа, но разной дисперсности, без предварительного облучения составляет примерно 1, то после него достигает 6. Это свидетельствует о том, что дефекты минералов, возникшие в ходе механического воздействия, являющиеся своего рода «ловушками» для рентгеновских и  $\gamma$ -квантов, которые в процессе ТЛ-контроля аннигилируют, обеспечивая необходимую контрастность ТЛ-спектров. Возникающие при облучении вторичные дефекты радиационного типа имеют существенно меньшее значение, что подтверждают результаты ТЛ-контроля порошков разного вещественного состава (сорта руды), но примерно одинаковой дисперсности. Действительно, как следует из данных таблицы, значения соответствующих соотношений  $I_{ТЛ}$  не только не увеличиваются после предварительного облучения

порошков, а даже уменьшаются по сравнению с аналогичными значениями без предварительного облучения. Установлено, что временное ограничение в 30 мин при оценке реакционной способности минерального сырья ТЛМ справедливо лишь для высоких (более 10 %) концентраций шламовой составляющей ОМЧ с частицами размером менее 10 мкм. Такая концентрация шламов является фактором, снижающим эффективность флотационного процесса [3]. Содержание шламов в результате измельчения исследованных типов руд не превышало 7–10 %, а средняя крупность частиц продуктов обогащения находилась в диапазоне 15–60 мкм. Кроме того, в случае ТЛ-контроля дисперсности порошков указанное выше временное ограничение (30 мин) может быть нарушено при условии соблюдения постоянства времени между отбором технологических проб и измерением ТЛ-спектров. Это связано с тем, что объемные дефекты частиц технологической дисперсности, в отличие от поверхностных дефектов ОМЧ размером менее 10 мкм, практически не аннигилируют со временем.

Результаты исследований свидетельствуют о достаточно широких возможностях ТЛМ, позволяющие при определенных условиях оценивать реакционные способности минерального сырья, идентифицировать его вид, а также определять дисперсность порошковых образцов. Есть основания полагать, что относительная простота аппаратной реализации метода и его функциональная интеграция с рентгено-спектральным методом в автоматизированных системах аналитического контроля позволят существенно повысить информативность экспрессного анализа руд и продуктов их переработки.

Библиографический список

1. Марфунин А. С. Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах. — М: Недра, 1975.
2. Таращан А. Н. Люминесценция минералов. — Киев, Наукова Думка, 1978.
3. Ревнивец В. И., Доливо-Добровольская Г. И., Владимиров П. С. Технологическая минералогия обломочных малых частиц. — СПб.: Наука, 1992.
4. Бадалов С. Т. Технологическая минералогия рудного сырья // Современные методы минералого-геохимических исследований как основа выявления новых типов руд и технологии их комплексного освоения // Материалы годичного собрания Российского минералогического общества. — СПб, 2006.
5. Букарь В. П. Термолюминесцентный анализ и его успешное применение в геологии // Тезисы VII конференции «Аналитика Сибири и Дальнего Востока-2004» — Новосибирск, 2004.
6. Ревнивец В. И., Доливо-Добровольская Г. И., Владимиров П. С. Дефектоемкость структуры минералов // ДАН СССР, 1988. — Т. 301. — № 1.
7. Бондаренко А. В., Владимиров П. С., Доливо-Добровольская Г. И. и др. Экспрессный контроль реакционной активности обломочных малых частиц минералов тер-



молюминесцентным методом // Обогащение руд — 1991 — № 5.

8 Бондаренко А. В. О влиянии крупности частиц при рентгеноспектральном анализе гетерогенных материалов // Обогащение руд — 1988 — № 2 [2].

Бондаренко Александр Владимирович  
e-mail: A\_Bondarenko@rivs.ru

### THERMOLUMINESCENT METHOD OF ORE BENEFICIATION

Bondarenko A. V.

Possibilities of thermoluminescent method of ore beneficiation were considered. Methods of rapid thermoluminescent evaluation of reaction activity, identification of technological type of ores and determination of their dispersivity in processing period have been proposed.

**Key words:** ore beneficiation, technological type, dispersivity, reaction capability, thermoluminescent evaluation.

УДК 622.7.622.363.412.621.386

Д. С. АНДРЕЕВ (ЗАО «НПО «РИВС»)

## ОСОБЕННОСТИ РЕНТГЕНФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА ВЫСОКОКАРБОНАТНЫХ ФЛЮОРИТОВЫХ РУД



Д. С. АНДРЕЕВ,  
заведующий сектором

Флюорит ( $\text{CaF}_2$ ) используется как сырье для получения плавиковой кислоты и других соединений фтора, в том числе искусственного криолита, необходимого в производстве алюминия. Основные запасы флюорита представлены силикатно-флюоритовыми, сульфидсодержащими, карбонатно-флюоритовыми и барит-флюоритовыми рудами.

Карбонатно-флюоритовые руды обычно содержат 20–60 % флюорита и до 40 % кальцита. Руды подразделяют по их обогатимости в зависимости от величины карбонатного модуля  $M$  (соотношения содержания флюорита и карбонатов) на следующие типы: малокарбонатные ( $M > 15$ ), среднекарбонатные (от 3 до 15) и сильнокарбонатные ( $M < 3$ ). В сильнокарбонатных рудах содержание кварца составляет от 3–5 %. Из других вредных примесей, присущих флюоритовым рудам, на качество концентратов оказывают влияние повышенные содержания серы и фосфора, которые при обогащении частично переходят в концентрат.

При технологическом сопровождении процесса переработки высококарбонатных флюоритовых руд

Показаны преимущества рентгенофлуоресцентного (РФ) метода определения содержания  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  (по сравнению с химическим методом) на примере карбонатно-флюоритовых руд. РФ-метод позволяет более чем в 10 раз сократить продолжительность анализа при сохранении точности полученных результатов.

**Ключевые слова:** карбонатно-флюоритовые руды, содержание компонентов, химический анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, продолжительность анализа.

возникают трудности в определении содержаний флюорита, кальцита и кварца в технологических продуктах.

В настоящее время существует химический метод оценки содержания  $\text{CaCO}_3$  согласно ГОСТ 7619.2-81 (срок его действия продлен по настоящее время). Данный стандарт распространяется на плавиковый шпат и предусматривает титрометрический метод определения  $\text{CaCO}_3$ , а также других соединений кальция, растворимых в уксусной кислоте, в пересчете на  $\text{CaCO}_3$  при массовой доле его от 0,2 до 50 %.

Метод основан на титровании ионов кальция трилоном Б при  $\text{pH} = 12$  в присутствии триэтанолamina в растворе после обработки навески уксусной кислотой [1].

Содержание в пробе  $\text{CaF}_2$  определяют по ГОСТ 7619.3-81 (срок его действия продлен по настоящее время). Данный стандарт распространяется на плавиковый шпат и предусматривает титрометрический метод определения  $\text{CaF}_2$  (при массовой доле свыше 1 %), а также потенциометрический метод. Первый метод основан на разложении смеси борной и соляной кис-



**Внешний вид рентгенофлуоресцентного спектрометра**

лот остатка, полученного после обработки навески уксусной кислотой при определении  $\text{CaCO}_3$ . Второй метод основан на выделении фтора из навески отгонкой в присутствии хлорной кислоты, с использованием дистилляционного аппарата с регулируемой температурой. Потенциометрическое титрование дистиллата проводят раствором азотнокислого лантана с применением ионоселективного электрода [2].

Современные аналитические приборы, основанные на физических методах, например атомно-абсорбционных и атомно-эмиссионных, способствуют точному определению низких содержаний ионов кальция в растворе, позволяя тем самым, во-первых, избавиться от титрования растворов, а во-вторых, увеличить точность и воспроизводимость результатов анализов.

Недостатком вышеперечисленных химических методов является трудоемкость, т. е. длительность подготовки и проведения анализа, существенный расход реагентов, наличие отходов. В связи с этим, когда речь заходит об экспрессности анализа, следует обратить внимание на альтернативные методы.

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) — это определение химических элементов, которое осуществляется по наиболее интенсивным линиям вторичного рентгеновского спектра (спектра рентгеновской флуоресценции) [3]. Анализируемые образцы могут быть как жидкие, так и твердые, причем последние могут иметь любую консистенцию. Метод обладает широким диапазоном определяемых содержаний элементов от  $10^{-4}$  до 100 % (масс.) при удовлетворительной инструментальной погрешности. Следует отметить также простоту приготовления образца и стандартов к исследованию. Вместе с тем необходимо методически учитывать различные «матричные» эффекты, включая межэлементное влияние, для получения корректных результатов [4].

В работе автора использовался рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный спектрометр

(см. рисунок). Он позволяет проводить точный и быстрый качественный и количественный анализ элементов от углерода ( $^{12}\text{C}$ ) до урана ( $^{92}\text{U}$ ) в твердом состоянии, порошке и жидкости. Анализ может выполняться на воздухе, в вакууме или в среде гелия [5].

В флюоритовой руде химический элемент Ca находится в составе флюорита (теоретическое содержание кальция 51,33 %) и кальцита (теоретическое содержание кальция 40 %).

Сущность предлагаемого комбинированного метода определения  $\text{CaF}_2$  и  $\text{CaCO}_3$  в продуктах переработки флюоритового концентрата заключается в разделении этих соединений и определении в каждом из них содержания Ca с помощью энергодисперсионного спектрометра. Далее аналитическим путем определяют долю каждого соединения.

**Первый этап.** Первоначально определяют содержание  $\text{SiO}_2$ . Определение проводят методом рентгенофлуоресцентного количественного анализа с использованием калибровочной кривой (сравнением интенсивностей линий пробы и калибровочного образца). Калибровочный график строят на основе проб, в которых содержание  $\text{SiO}_2$  определено в аттестованной лаборатории. Автор использовал интервал концентраций  $\text{SiO}_2$  от 0,5 до 80 % (масс.). Для высоких и низких содержаний  $\text{SiO}_2$  строят две графические зависимости.

**Второй этап.** Навеску флюорита обрабатывают химическим раствором. Карбонат кальция растворяется, при этом кальций, входящий в состав  $\text{CaCO}_3$ , переходит в раствор, а фторид кальция остается в осадке. Промытый и высушенный осадок фторида кальция анализируют на содержания Ca. Анализ проводят с использованием калибровочной кривой, которую строят на основе проб, в которых содержание кальция определено в аттестованной лаборатории. Разброс содержаний — от 2 до 50,4 %. Градуировку для концентратов, промпродуктов и хвостов производят индивидуально.

**Третий этап.** Определение содержания кальция в полученном растворе производят по методике количественного анализа жидкостей. Калибровочный график строят по приготовленным растворам с известным аттестованным содержанием кальция.

В том случае, когда в состав основного компонента пробы входит несколько элементов, на характеристическое рентгеновское излучение (аналитическую линию определяющего элемента) оказывают влияние и другие, «мешающие» элементы (элементы матрицы). Следовательно, интенсивность вторичного (характеристического) рентгеновского излучения при выходе с

**Таблица 1. Содержание компонентов в продуктах переработки карбонатно-флюоритовой руды рудника «Урген»**

Наименование продуктов	По результатам химических анализов, %			По результатам РФА, %			Относительная погрешность при определении соединений, %		
	$\text{CaF}_2$	$\text{CaCO}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{CaCO}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{CaCO}_3$	$\text{SiO}_2$
Концентрат	96,5	0,67	2,07	95,8	0,71	2,02	0,7	6,0	2,4
Промпродукт	35,9	34,7	15,1	35,0	34,3	14,6	2,5	1,1	3,3
Хвосты	5,46	7,52	77,0	5,37	7,65	75,6	1,6	1,7	1,8

**Таблица 2. Продолжительность определения химических элементов в одной пробе, ч**


Химическое соединение	Химический анализ	РФА (с учетом пробоподготовки)
CaF <sub>2</sub>	2	0,5
CaCO <sub>3</sub>	2	0,5
SiO <sub>2</sub>	10	0,1
Общее время	14	1,1

поверхности пробы изменяется в соответствии со степенью их воздействия. Даже если содержание элемента в анализируемой пробе не изменяется, интенсивность рентгеновского излучения может измениться, а калибровочная кривая — отклониться. Для устранения воздействия матричных эффектов программное обеспечение прибора позволяет оперировать следующими методами: Лачанса — Трэйля, Расберри — Хайнриха, де Жонга. Кроме того, для расчета коэффициентов коррекции можно использовать метод фундаментальных параметров.

В качестве примера в табл. 1 представлены результаты анализа проб, полученные в ходе исследовательской работы на карбонатно-флюоритовой руде рудника «Урген» (Монголия). Данные о времени, затрачиваемом на определение химических элементов, представлены в табл. 2.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 7619.2-81. Шпат плавиковый. Метод определения углекислого кальция.

2. ГОСТ 7619.3-81. Шпат плавиковый. Метод определения фтористого кальция.
3. Рентгенофлуоресцентный анализ под ред. Н. Ф. Лосева — Новосибирск: Наука, 1991.
4. Klimasara J // X-Ray Anal. — 1995. — V. 38.
5. Энергодисперсионный флуоресцентный рентгеновский спектрометр. Руководство по эксплуатации. — М., 2007. 

Андреев Денис Сергеевич,  
тел.: (812) 321-57-05

#### FEATURES OF X-RAY FLUORESCENT ANALYSIS OF HIGH CARBONATE FLUORITE ORES

Andreev D. S.

Advantages of X-ray fluorescent (XRF) determination method of CaCO<sub>3</sub>, CaF<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> content (comparing with chemical method) have been shown on the example of carbonate-fluorite ores. X-ray fluorescent method allows to reduce duration of analysis by more than 10 times with retaining of precision of obtained results.

**Key words:** carbonate-fluorite ores, components content, chemical analysis, X-ray fluorescent analysis, duration of analysis. Features of X-ray fluorescent analysis of high carbonate fluorite ores



Издательский дом «Руда и Металлы»  
в Интернет

<http://www.rudmet.ru>



УДК 622.765

**З. ГАНБААТАР** (КОО «Предприятие «Эрдэнэт»)  
**Ю. П. НАЗАРОВ, М. В. ПОЛЯНСКИЙ** (ЗАО «НПО «РИВС»)

## ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГЛАВНОГО КОРПУСА КОО «ПРЕДПРИЯТИЕ «ЭРДЭНЭТ» С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ ЗАО «НПО «РИВС»



**З. ГАНБААТАР**,  
зам генерального  
директора  
по производству,  
канд. техн. наук



**Ю. П. НАЗАРОВ**,  
ведущий научный  
сотрудник,  
канд. техн. наук



**М. В. ПОЛЯНСКИЙ**,  
директор по  
строительству  
и реконструкции  
обогажительных  
предприятий

*На обогащательной фабрике комбината «Эрдэнэт» осуществлена кардинальная реконструкция флотационного передела, предусматривающая совершенствование технологической схемы флотации и установку нового оборудования производства НПО «РИВС» взамен старого. Реконструкция, проведенная в кратчайшие сроки, позволила унифицировать технологические схемы всех секций, оптимизировать типоразмеры флотационных машин, существенно повысить производительность секций и технологические показатели флотации.*

**Ключевые слова:** ГОК «Эрдэнэт», медно-молибденовые руды, флотация, реконструкция, флотационные машины РИФ, технологические показатели.

ЗАО «НПО «РИВС» выполняет комплексное проектирование обогащательных производств предприятий горнодобывающей промышленности при строительстве, модернизации и реконструкции на всех стадиях — от обоснования инвестиций до рабочего проекта и во всех частях — от разработки генпланов до сметной документации.

К числу инновационных разработок последних лет следует отнести одновременно проводимую разработку технологии флотации медно-молибденовых руд и реконструкцию флотационного передела крупнейшего в Центральной Азии горного предприятия, где наиболее зримо можно представить весь объем работ — от лабораторного опыта до технологического регламента и от конструкторской разработки до ввода в эксплуатацию секции, выполненных «под ключ»: на примере реконструкции основного передела главного корпуса КОО «Предприятие «Эрдэнэт».

На обогащательной фабрике КООП «Эрдэнэт» реализована и в течении тридцати лет успешно эксплуати-

руется двухстадийная схема обогащения медно-молибденовых руд, так называемая cleaner — scavanger (с — s) — базовая для предприятий, перерабатывающих медно-порфиновые руды [1]. Данная схема включает, как правило, основную и контрольную операции флотации грубоземельного продукта с последующей перемешкой до измельченного чернового концентрата. Промпродукты перерабатываются в отдельном цикле, что обеспечивает стабилизацию параметров цикла основной флотации.

Вместе с тем на всех шести технологических секциях главного корпуса за более чем тридцатилетний период работы предприятия данная схема подверглась определенным изменениям, обусловленным обстоятельствами, носящими, как правило, объективный характер. В частности, существует различие в схеме рудоподготовки: на V секции измельчение осуществляется в мельницах полусамозмельчения, на остальных — в шаровых мельницах; исторически сложилось различие в объемах переработки и технологических возможностях установленного на конкретной секции флотационного оборудования.

Таким образом, к своему юбилею комбинат подошел с шестью технологическими секциями, три из которых требовали немедленной реконструкции, так как с момента ввода предприятия в эксплуатацию выработали свой физический ресурс, а остальные три работали по схемам, различия в которых носили принципиальный характер.

### Реконструкция VI секции

Шестая секция на период реконструкции была укомплектована флотомашинами четырех типоразмеров и разных производителей: ОК-50 и ОК-38 (основная и контрольная флотации), КУФ 16 (промпродуктовый цикл), ОК 16Н (перечистный цикл). Технологическая схема VI секции представлена на рис. 1, а.

Проектная схема предусматривала доизмельчение камерного продукта перечистной операции и пенного продукта контрольной операции в шаровой мельнице МШЦ-3200-4500, работающей в замкнутом цикле с гидроциклонами ГЦ-710. Слив гидроциклонов самотеком поступал в промпродуктовый цикл. Хвосты

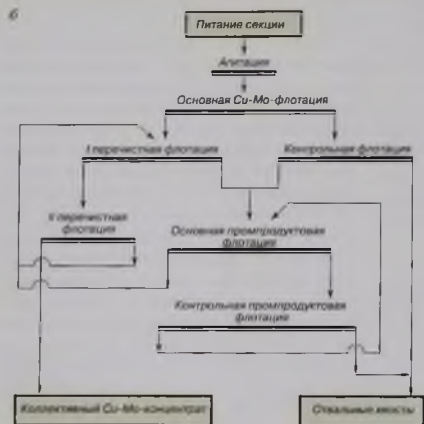
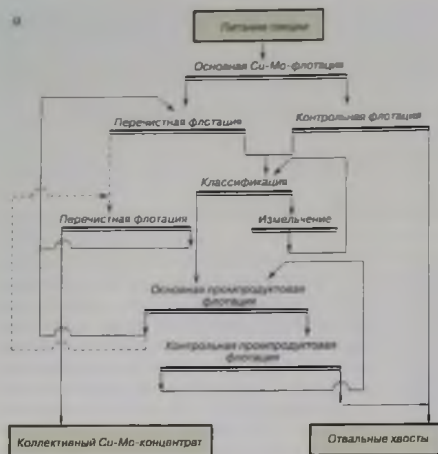


Рис. 1. Технологическая схема VI секции до реконструкции (а) и после нее (б); аналогичную конфигурацию обрела и технологическая схема V секции

контрольной коллективной и контрольной промпродуктовой флотации объединяли и сбрасывали в отвал. Концентрат основной коллективной флотации вместе с концентратом основной промпродуктовой флотации поступал на I перечистку.

Следует отметить, что флотационная машина I перечистой операции была выполнена в двухкаскадном варианте, а машина на II перечистой операции могла выполнять также и функции перечистой операции промпродуктового цикла.

По результатам систематического минералогического анализа продуктов промпродуктового цикла было установлено, что практически весь (95 %) молибденит,

поступающий в этот цикл, находится в раскрытом виде: для пирита, основного проблемного минерала, и халькопирита эти цифры близки и составляют около 90 %. Нерудные минералы (более 95 % общей массы) в основном также находятся в свободном состоянии.

Было установлено, что узел доизмельчения питания промпродуктового цикла избыточен, он не способствует раскрытию минеральных зерен, а по результатам минералогического анализа хвостовых продуктов (см. рис. 1, а) констатировано, что основной резерв извлечения молибдена заключается в оптимизации реагентного режима. Разработанная новая технология переработки медно-молибденовой руды [2] позволила сформировать, помимо собственно технологического режима, и концепцию схемных решений — вначале для V и VI секций, а позднее — для II–IV секций.

Первоначально, в период, предшествующий запуску секции по новой технологии [2], с целью повышения технологических показателей была произведена замена азрационных блоков на флотомашинных ОК-50 и ОК-38 производства Outokumpu Oy на азрационные блоки РИФ 11 и РИФ 9 производства фирмы СП ЗАО «ИВС». Выполнена модернизация цикла перечистных операций с установкой новых флотационных машин РИФ 16 производства фирмы СП ЗАО «ИВС» взамен флотомашин ОК-16. Кроме того, в связи с большой аварийностью и высокими эксплуатационными затратами редукторные приводы флотомашин ОК-50 и ОК-38 заменены приводами РИФ. Новая технологическая схема представлена на рис. 1, б.

#### Реконструкция V секции

В отличие от остальных секций, питанием коллективной флотации V секции является слив гидроциклонов корпуса полусамозмельчения, содержащий 65–70 % класса –0,074 мм.

Первоначально схема коллективной флотации включала операции выделения медной «головки», направляемой непосредственно в ступитель готового коллективного концентрата измельчительно-флотационного отделения, основной, контрольной, двух перечисток, а также операций основной и контрольной промпродуктовой флотации (рис. 2). За этим исключением конфигурация схемы в целом полностью соответствует схеме VI секции (см. рис. 1, а).

По результатам неоднократных опробований было показано, что двухкамерная флотомашинная ФПМ-40 не позволяет получать готовый коллективный концентрат, тем самым возможность выведения медной «головки», минуя перечистный цикл, не оправдана технологически.

Существующая схема предусматривала доизмельчение концентратов контрольных операций коллективной и промпродуктовой флотации и хвостов I перечистки в мельнице МШЦ-3200×4500, работающей в замкнутом цикле с гидроциклонами ГЦ-500. Однако в связи с низкой эффективностью, выявленной по результатам опробований, узел доизмельчения питания промпродуктового цикла также был исключен из эксплуатации.

В течение 2007–2008 гг. на V секции флотации было заменено следующее, физически изношенное

(проработавшее более 18 лет) оборудование:

- флотомашини ФПМ-16 в промпродуктовом цикле флотации и перечистных операциях на флотомашини РИФ 16 производства фирмы СП ЗАО «ИВС»;

- флотомашини ФПМ-40 в основном и контрольном циклах коллективной флотации на флотомашини РИФ 45.

Одновременно усовершенствована схема цепи аппаратов V секции с исключением операции выделения медной «головки» и с введением операции кондиционирования с реагентами путем установки на питании секции агитационного чана АЧ 45. Это дало возможность увеличить производительность секции до 6 млн т/год.

Реконструкция V и VI секций позволила повысить извлечение меди в коллективный концентрат на 1,1 %, молибдена — на 2,05 % за счет более эффективной работы самих флотомашин и оптимизации фронта флотации.

#### Реконструкция II и III секций

Технологические схемы II–IV секций, по терминологии комбината — «старых», практически аналогичны (рис. 3), единственное отличие заключалось в отсутствии контрольной флотации на IV секции, поскольку флотационная машина, на которой выполнялась эта операция, была задействована под расширение фронта контрольной операции медно-молибденовой флотации [3]. Технологическая схема III секции идентична схеме, представленной на рис. 1, а.

Данные секции проработали до реконструкции более 28 лет. Оборудование и металлоконструкции были морально и физически изношены и подлежали первоочередной замене. Секции включались в работу периодически, при необходимости проведения планово-предупредительных ремонтов на остальных секциях.

В соответствии с опытом, накопленным при реконструкции V и VI секций, и исходя из назревшей необходимости унификации технологических схем, предложено сформировать конфигурацию схем II–IV секций с учетом следующих положений (рис. 4):

- операции основной и контрольной флотации осуществлять по двум параллельным ниткам;
- избрать в качестве рабочего один из вариантов схемы «С — S» с доизмельчением питания I перечистной операции по двум вариантам — открытому и замкнутому;
- предусмотреть вариант осуществления операции механоактивации разгрузки узла доизмельчения;
- оптимизировать типоразмерный парк флотационных машин секций установкой машин РИФ 25 в операциях основной, контрольной и промпродуктовой флотации и машин РИФ 16 в операциях перечистного



Реконструированные однопаскадные I и II перечистные операции коллективной флотации VI секции

цикла, увеличив тем самым производительность каждой секции в 1,5 раза.

- перераспределить фронт флотации в перечистном цикле;
- предусмотреть операцию кондиционирования исходного питания в контактном чане КЧ 100 и питания I перечистной операции в КЧ 15 с возможностью управления качеством коллективного концентрата при изменении минерального состава руды;

- предусмотреть возможность объединения сливов необходимого числа мельниц в распределительной коробке с перераспределением питания на II и III секциях.

В соответствии с перечисленными положениями первоначально была реконструирована II секция.

Весь комплекс работ (проектирование, поставка оборудования, шефмонтаж, пуск и наладка) по реконструкции II секции коллективной флотации выполнен компанией СП ЗАО «ИВС» (НПО «РИВС») с установкой оборудования (КЧ 100, РИФ 25, РИФ 16) собственного производства.

Впервые в отечественной практике проектирование II секции выполнено в формате 3D.

Выбор типа оборудования и его размещение определено, исходя из поставленной задачи при реконструкции II секции — разместить новое оборудование на существующих фундаментах, тем самым сократив затраты и сроки строительства. Реконструкция секции выполнена в течение короткого срока — менее одного года. К демонтажу оборудования и

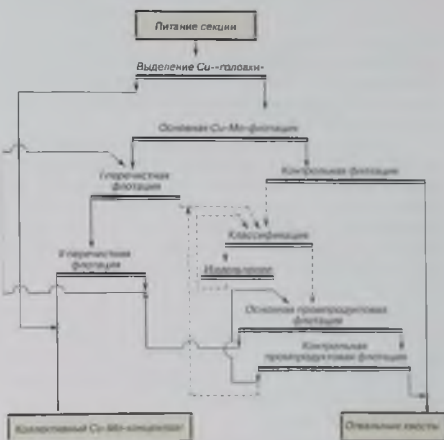


Рис. 2. Технологическая схема V секции до реконструкции (2005 г.)

\* Проектирование II–IV секций осуществлено в сотрудничестве с компанией «МонИВС Прожект ХХК»



металлоконструкций приступили в мае 2007 г., а 14 декабря секция была введена в эксплуатацию.

Промышленные испытания реконструированной II секции, проведенные при проектной производительности 6 млн т руды в год\*\* (до реконструкции — 4 млн т), показали ее эффективную работу. Технологические показатели коллективной флотации на этой секции оказались выше, чем на всех других секциях, особенно по извлечению молибдена, что обусловлено преимуществами аэрационных узлов флотомашин РИФ, обеспечивающих эффективную флотацию тонких частиц. Извлечение меди в коллективный концентрат на период испытаний составило 88,2 %, молибдена — 54,2 %, что соответственно на 0,9 % и ~4 % выше, чем на сравняваемой VI секции.



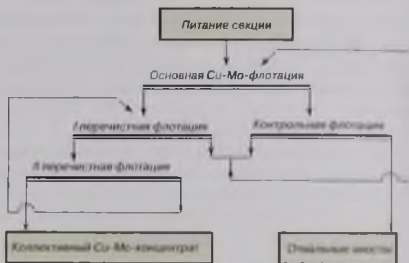
**Пятая секция после реконструкции**

физического износа флотационных машин и укороченного вдвое фронта контрольной флотации.

Перед проектировщиками были поставлены задачи, вступившие в противоречие с выработанными ранее положениями по конфигурации схем коллективной флотации:

- достигнуть производительности 4 млн т;
- на части производственной площади IV секции в будущем разместить оборудование резервной медно-молибденовой флотации.

В целом топология схемы не изменилась. Однако в связи с недостатком рабочих площадей предложено установить в основной и контрольной флотации



**Рис. 3. Технологическая схема II и IV секций до реконструкции**

Реконструкцию III секции проводили по процедуре, аналогичной на II секции, но с повышенной «гибкостью» цепи аппаратов: предусмотрена распределительная коробка, позволяющая объединять сливы любых из восьми мельниц, с последующим их распределением между II и III секцией. Это решение повысило автономность флотационных секций, способствовало эффективному усреднению исходного питания флотации, практически полностью исключило аварийные остановки и увеличило нагрузки на секции при сохранении технологических показателей. В апреле 2010 г. III секция введена в эксплуатацию.

**Модернизация I двояной секции**

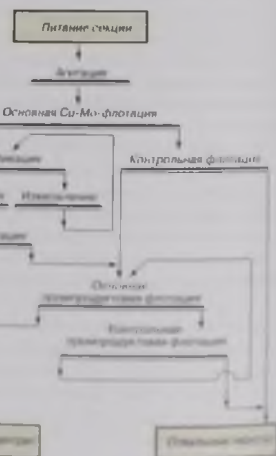
На I секции одно время была реализована так называемая гибкая схема, разработанная институтом Гинцветмет в конце 1990-х годов. Особенностью данной схемы является возможность получения готового коллективного концентрата не только в колонных флотомашинах (в операции перешли концентрата основной флотации), но и дополнительно в промпродуктовом цикле (рис. 5).

В настоящее время на I секции в перешлистом цикле коллективной флотации установлены новые флотационные машины РИФ 25 производства СП ЗАО «ИВС» взамен колонных машин, работающих с более низким операционным извлечением меди и молибдена в концентрат (по сравнению с другими секциями). Проведено модернизация машин объемом 100 и 130 м<sup>3</sup>, установленных на секции.

Перешлистый цикл выполнен в габаритности с разработанными ранее подрабатками и включает две однокаскадные флотомашинны РИФ 25. Увеличенный объем флотационных машин в перешлистом цикле обусловлен повышенной до 10 млн т производительностью секции.

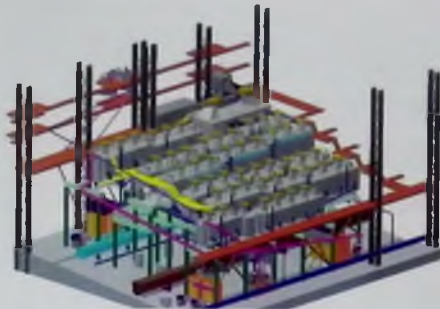
**Реконструкция IV секции**

Четвертая секция, последняя из реконструируемых, практически не эксплуатировалась вследствие



**Рис. 4. Технологическая схема II-IV секций после реконструкции**

\*\* В период испытаний нагрузку увеличили до 10 млн т без снижения технологических показателей.



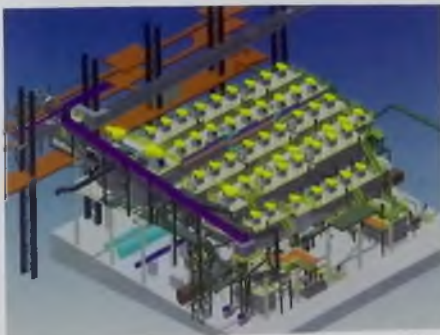
Проект реконструкции II секции в формате 3D

машины РИФ 45, в промпродуктовом и перечистном циклах — машины РИФ 16.

Основной вопрос, стоявший при проектировании цепи аппаратов отдельных секций, заключался в выборе соотношения объемов машин в основных и контрольных операциях, а также в промпродуктовых и перечистных.

За время работы ГОКа в главном корпусе неоднократно вводились в эксплуатацию новые флотомашин. Это привело к тому, что на начало реконструкции секции были оснащены практически всем диапазоном типоразмеров флотомашин: ФПМ-12,5; ОК-38; ОК-50; РИФ 45, ОК-100ТС; WEMKO 4500 с камерами объемом от 12,5 до 127 м<sup>3</sup>. Помимо чисто эксплуатационных проблем, работы с разнообъемными и разнокалиберными машинами всегда сопряжены с трудностями технологического характера, поскольку невозможно поддерживать единую идеологию управления операциями флотации, оснащенными неоднотипными флотомашинами.

По результатам анализа работы флотационных секций установлено, что оптимальными типоразмерами флотомашин в операциях основной и контрольной флотации являются 25 и 45 м<sup>3</sup>, а в операциях перечистного и промпродуктового цикла — 16 м<sup>3</sup>.



Проект реконструкции III секции в формате 3D



Вторая секция до (а) и после (б) реконструкции

Таким образом, в ходе реконструкции технологических секций измельчительно-флотационного отделения КООП «Эрданат» выполнено следующее:

- унифицированы технологические схемы всех секций, что существенно улучшило контроль и управляемость процессом коллективной флотации;
- оптимизировано соотношение типоразмеров флотомашин в коллективном, перечистном и промпродуктовом циклах;

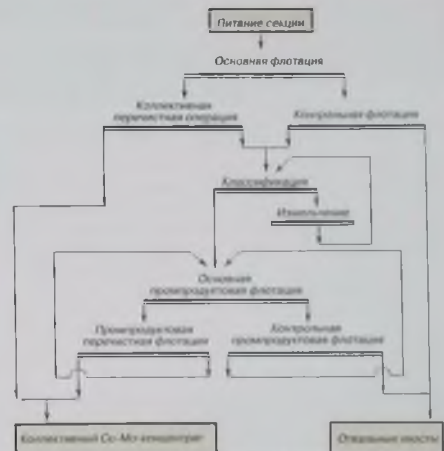


Рис. 5. Технологическая схема I секции



Узел перемычки I секции после реконструкции

- сокращена номенклатура установленных флотомашин и контактных чанов в «оллективном цикле».
- существенно (до 50 %) повышена производительность секции.
- оптимизировано и стабилизировано питание флотационных секций посредством повышения «гибкости» схем за счет объединения разгрузки восьмью мельниц в едином пульподелителе с последующим посекционным распределением пульпы.
- в совокупности с разработанной технологией проведенная реконструкция позволила существенно повысить технологические показатели работы обогатительной фабрики в условиях постоянного снижения качества поступающей руды

*Библиографический список*

1. Баатархуу Ж. Технология обогащения медно-порфирировых руд на основе изучения их генетико-морфологических особенностей. — Эрдэнэт, 2006.

2. Ганбаатар З., Назаров Ю., Полянский М. Совершенство, качество техники и технологии обогащения медно-молибденовых руд на обогатительной фабрике «Эрдэнэт» // Горный журнал. — 2006. — Специальный выпуск.
3. Технологическая инструкция КООП «Эрдэнэт». 2008 г. □

Ганбаатар З.,

тел.: +976 (0)13-52-73-501

Назаров Юрий Павлович,

тел.: (812) 321-57-05

Полянский Михаил Васильевич,

тел.: (812) 321-57-05

**PROJECT SOLUTIONS DURING RECONSTRUCTION OF THE MAIN SHOP OF "ERDENET" ENTERPRISE" USING EQUIPMENT DEVELOPED BY "NPO RIVS"**

**Ganbaatar Z., Nazarov Yu. P., Polyanskiy M. V.**

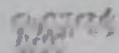
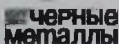
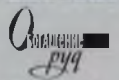
Principal reconstruction of flotation process stage, including improvement of the flotation technological scheme and installation of new equipment developed by "NPO RIVS" instead of old equipment has been undertaken at concentrating plant at the "Erdenet" enterprise. Reconstruction, realized in close timeframe, allow to unify the technological schemes of all sections, and optimize production ranges of flotation machines, increase essentially productivity of sections and technological parameters of flotation.

**Key works:** "Erdenet" mining and concentrating plant, copper molybdenum ores, flotation, reconstruction, RIF flotation machine, technological parameters.



**Издательский дом «РУДА и МЕТАЛЛЫ»**

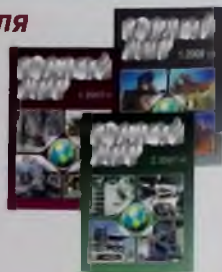
представляет:



**Новый журнал горного профиля**

В Издательском доме «Руда и Металлы» регулярно выходит журнал «ГОРНЫЙ МИР». В нем публикуются реферативные переводы статей из иностранных горнотехнических журналов по тематике «Горного журнала». Рефераты готовит соучредитель «Горного журнала» — НПК «Механобр-техника».

Достигнута договоренность с руководством журнала «International Mining» (Великобритания) о регулярной публикации в «Горном мире» наиболее интересных обзорных статей и репортажей из этого английского журнала.

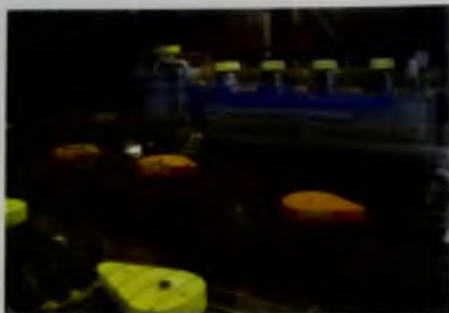


Россия, 119049 Москва, в/я 71  
Тел./факс +7 (495) 638-45-18  
638-44-23

[www.rudmet.ru](http://www.rudmet.ru)  
[rtm@rudmet.ru](mailto:rtm@rudmet.ru)

Подписка на «Горный мир» ведется через агентство «Роспечать» (подписной индекс 18043), а также через редакцию. Журнал выходит два раза в год, в будущем планируется увеличение частоты выпуска.





Узел перемычки 1 секции после реконструкции

- сокращена номенклатура установленных флотомашин и контактных чанов в коллективном цикле;
- существенно (до 50 %) повышена производительность секций;
- оптимизировано и стабилизировано питание флотационных секций посредством повышения «гибкости» схем за счет объединения разгрузки восьмью мельницами в едином пульподелителе с последующим посекционным распределением пульпы.
- в совокупности с разработанной технологией проведенная реконструкция позволила существенно повысить технологические показатели работы обогатительной фабрики в условиях постоянного снижения качества поступающей руды.

*Библиографический список*

1. Баатархуу Ж. Технология обогащения медно-порфировых руд на основе изучения их генетико-морфологических особенностей. — Эрдэнэт, 2006.

2. Ганбаатар З., Назаров Ю., Полянский М. Совершенствование техники и технологии обогащения медно-молибденовой руды на обогатительной фабрике - Эрдэнэт // Горный журнал. — 2008. — Специальный выпуск.
3. Технологическая инструкция КООП - Эрдэнэт. 2008 г. [P]

Ганбаатар З.

тел. +976 (0)13-52-73-501

Назаров Юрий Павлович,

тел.: (812) 321-57-05

Полянский Михаил Васильевич,

тел.: (812) 321-57-05

**PROJECT SOLUTIONS DURING RECONSTRUCTION OF THE MAIN SHOP OF "ERDENET" ENTERPRISE" USING EQUIPMENT DEVELOPED BY "NPO RIVS"**

**Ganbaatar Z., Nazarov Yu. P., Polyanskiy M. V.**

Principal reconstruction of flotation process stage, including improvement of the flotation technological scheme and installation of new equipment developed by "NPO RIVS" instead of old equipment has been undertaken at concentrating plant at the "Erdenet" enterprise. Reconstruction, realized in close timeframe, allow to unify the technological schemes of all sections, and optimize production ranges of flotation machines, increase essentially productivity of sections and technological parameters of flotation.

**Key works:** "Erdenet" mining and concentrating plant, copper molybdenum area, flotation, reconstruction, RIF flotation machine, technological parameters.



**Издательский дом «РУДА и МЕТАЛЛЫ»**

представляет:

**Новый журнал горного профиля**

В Издательском доме «Руда и Металлы» регулярно выходит журнал «ГОРНЫЙ МИР». В нем публикуются реферативные периоды статей из иностранных горнотехнических журналов по тематике «Горного журнала». Рефераты готовит соучредитель «Горного журнала» — НПК «Механобр-техника».

Достигнута договоренность с руководством журнала «International Mining» (Великобритания) о регулярной публикации в «Горном мире» наиболее интересных обзорных статей и репортажей из этого английского журнала.



Россия, 119049, Москва, в/я 71  
Тел./факс +7 (495) 638-45-18  
638-44-23

[www.rudmet.ru](http://www.rudmet.ru)  
[rim@rudmet.ru](mailto:rim@rudmet.ru)

Подписка на «Горный мир» ведется через агентство «Роспечать» (подписной индекс 18043), а также через редакцию. Журнал выходит два раза в год, в будущем планируется увеличение частоты выпуска.

УДК 622 765

**З. Р. ГИБАДУЛЛИН, А. Ж. МИНГАЖЕВ** (Сибайский филиал ОАО «Учалинский ГОК»),  
**Е. П. КАЛИНИН, Л. А. НЕМЧИНОВА, М. И. ТКАЧЕНКО** (ЗАО «НПО «РИВС», Уральские предприятия)

## РЕКОНСТРУКЦИЯ СИБАЙСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ЗАО «НПО «РИВС»



**З. Р. ГИБАДУЛЛИН,**  
генеральный директор



**А. Ж. МИНГАЖЕВ,**  
начальник  
обогажительной фабрики



**Е. П. КАЛИНИН,**  
директор



**Л. А. НЕМЧИНОВА,**  
начальник научно-  
исследовательской  
лаборатории



**М. И. ТКАЧЕНКО,**  
старший научный  
сотрудник

Приведены результаты лабораторных и промышленных испытаний по обогащению медных и медно-цинковых руд на обогажительной фабрике Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК» после проведения реконструкции III секции флотации. Разработана технологическая схема и режим флотационного обогащения медных и медно-цинковых руд различных месторождений, перерабатываемых на ОФ, позволяющие повысить содержание меди в медном концентрате при одновременном повышении извлечения металла.

**Ключевые слова:** Сибайская обогажительная фабрика, медные и медно-цинковые руды, флотация, реконструкция, оптимальный режим, технологические показатели.

В производстве цветных металлов совершенствование селективной флотации медно-цинковых и колчеданных медных руд является главным резервом повышения извлечения металлов, комплексности использования сырья и во многих случаях определяет направления и успехи металлургической переработки концентратов.

Сырьевая база обогажительной фабрики (ОФ) Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК» представлена сплошными колчеданными медными и вкрапленными медно-цинковыми рудами, в том числе:

- собственными рудами: медной и медно-цинковой Камаганского месторождения, медной колчеданной Сибайского подземного рудника (Нижняя залежь);
- привозными рудами: вкрапленной медно-цинковой Майского месторождения, медной Юбилейного месторождения.

Перспективной для переработки на Сибайской ОФ является медно-цинковая руда Ново-Сибайского месторождения.

В 2006–2008 гг. СП ЗАО «ИВС» проведен ряд исследовательских работ с целью разработки новой технологии обогащения руд, перерабатываемых на Сибайской ОФ. В результате был разработан технологический регламент на проектирование III секции флотации. Сложность поставленной задачи заключалась в определении оптимальной схемы обогащения как для вкрапленных медно-цинковых руд, так и для сплошных медных руд.

В ходе проведения исследований был изучен вещественный состав проб медных и медно-цинковых руд, изучена степень раскрытия минеральных зерен в зависимости от крупности материала. Представленные руды характеризуются различным химическим (табл. 1) и минеральным составом. Например, содержание пирита в рудах Камаганского, Юбилейного, Сибайского, Ново-Сибайского месторождений превышает 40 %, в то время как в рудах Майского месторождения — около 5 %. В широком диапазоне изменяется также содержание вмещающих пород: в руде Майского месторождения — до 80 %, и представлены они в основном кварцем; в рудах Юбилейного месторождения — на уровне 38 % (серпидит, калиевые гидрослюда, хлорит).

Содержание вмещающих пород и пирита определяет измельчаемость каждой руды и, как следствие, производительность существующего измельчительно-классифицирующего оборудования обогажительной фабрики.

Для всех исследуемых проб была определена оптимальная крупность измельчения — не менее 90 % класса –74 мкм, исключение составляют сибайская медная и майская медно-цинковая руда (77–80 % класса –74 мкм).

Следует отметить, что в медной руде Камаганского месторождения содержится до 0,66 % цинка, что требует при ее обогащении дополнительного использова-

Таблица 1. Химический состав проб исследуемой руды

Элемент и стандарт	Содержание, %					
	Медные руды			Медно-цинковые руды		
	Камганская	Нижне-Сибайская	Юбилейная	Ново-Сибайская	Камаганская	Майская
Cu	1,25	1,95	2,92	0,87	1,45	0,87
Zn	0,66	0,58	0,44	3,04	1,43	2,85
Pb	0,048	0,01	0,027	0,085	0,048	0,127
As, г/т	1,36	0,52	1,81	2,04	1,19	2,17
Ag, г/т	9,71	3,49	13,32	13,9	17,23	28,36
S <sub>tot</sub>	24,6	27,9	36,7	36,5	19,5	7,6
MgO	2,69	2,14	4,4	1,12	2,09	0,55
SiO <sub>2</sub>	26,05	15,85	9,23	10,21	26,05	53,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,22	7,6	1,51	6,31	11,22	3,06
CaO	2,3	0,93	2,35	1,35	2,3	0,34
As	0,07	0,05	0,018	0,35	0,07	0,03

ния депрессоров. Медно-цинковая руда Камаганского месторождения характеризуется неблагоприятным соотношением меди к цинку (1:1), что обуславливает снижение извлечения цинка в концентрат за счет его потерь с медным концентратом. Медь в рудах, перерабатываемых на Сибайской ОФ, представлена на 95–98 % первичными сульфидами. Исключение составляет медная руда Юбилейного месторождения, в которой содержание вторичных минералов меди колеблется от 15 до 50 %. Цинк на 91–98 % находится в сульфидной форме. Сфалерит ассоциирует практически со всеми сульфидами, образуя с ними сложные взаимопорастания. Из второстепенных рудных минералов в рудах присутствуют борнит, теннантит, халькозин, галенит.

На основании данных минералогического анализа и ряда лабораторных испытаний был разработан реагентный режим с использованием бутилового ксантогената и Т-92. Определены оптимальная плотность пульпы и pH среды при флотации медных и медно-цинковых руд. При флотации медной руды Камаганского месторождения рекомендована дополнительная подача депрессоров с целью получения более качественного медного концентрата.

Для переработки медных и медно-цинковых руд определена единая технологическая схема флотации, включающая вывод медной «головки», основную коллективную (медную) флотацию, доизмельчение промпродуктов обогащения, контрольную флотацию, три перечиски медного концентрата, промпродуктовую флотацию.

Кроме того, в новую схему были включены отсутствовавшие в старой схеме флотации операции кондиционирования с реагентами во всех циклах; теплового и аэрационного кондиционирования в цинковом цикле и доизмельчение промпродуктов во всех циклах флотации. Цинковый цикл включает операцию цинк-пиритной флотации хвостов контрольной медной флотации с доизмельчением цинк-пиритного концентрата до крупности 92–94 мкм класса –44 мкм и его сгущение. Сгущению подвергаются хвосты промпродуктовой флотации и концентрат цинк-пиритной флотации,

которые являются питанием цинковой флотации с предварительной подготовкой пульпы в контактных чанах (рис. 1).

В связи с существенным физическим и моральным износом основного и вспомогательного оборудования на Сибайской ОФ возникла необходимость его модернизации с применением современного оборудования и новой технологии обогащения ЗАО «НПО «РИВС». В кратчайшие сроки (в течение 2007 г.) был разработан проект и проведено техпереворужение III секции флотации с остановкой I, II и IV секций.

Выбор мельниц для измельчения руд с учетом производительности по руде каждого типа и необходимого времени переработки в течение года были осуществлены с учетом измелчательно-классифици-

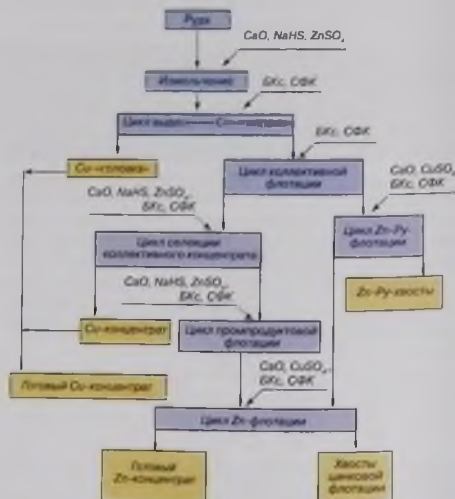


Рис. 1. Технологическая схема обогащения медных и медно-цинковых руд на III секции флотации Сибайской ОФ



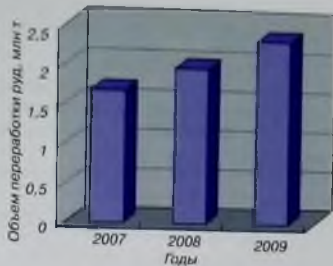


Рис. 2. Динамика переработки руд на Сибайской фабрике

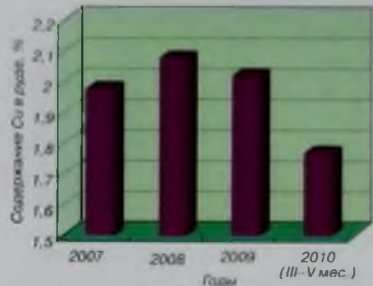


Рис. 4. Содержание меди в рудах, перерабатываемых на Сибайской ОФ

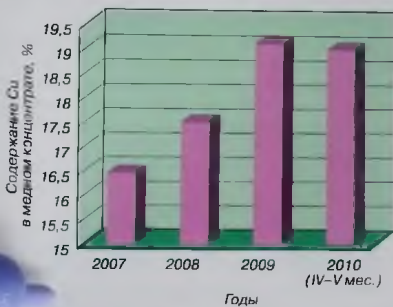


Рис. 3. Содержание меди в медном концентрате на Сибайской ОФ

рующего оборудования, имеющегося на обогатительной фабрике. При этом основную часть в обогатительном сырье на фабрике составляют, %:

- медная руда Юбилейного месторождения — 44–63;
- медная руда Сибайского подземного рудника — 23;
- медная руда Камаганского месторождения — 22–34;
- медно-цинковая руда Майского месторождения — 5–8.

Для обогащения руд на Сибайской ОФ во все операции были рекомендованы к установке пневмомеханические флотационные машины РИФ 25 и РИФ 8.5.

В процессе освоения III секции в 2008 г при совместной работе коллективов фабрики и СП ЗАО «ИВС» была уточнена технологическая схема и режим переработки медных руд, которые перерабатывали либо отдельно, либо в виде смеси, например руд Юбилейного и Камаганского месторождений в различных соотношениях. Технологическая схема переработки медных руд включает:

- выделение медной «головки» для всех типов руд, перерабатываемых на секции;
- перечистку медной «головки»;
- получение и селекцию богатого по содержанию меди коллективного концентрата.

В ходе освоения III секции Сибайской ОФ, в связи с остановкой старых секций, были объединены сливы I, II и IV секций измельчения, что позволило увеличить производительность фабрики до 290 т/ч. По сравнению с 2007 г. годовая производительность Сибайской ОФ за 2008–2009 гг. повысилась на 30 % и достигла 2,3 млн т руды в год (рис. 2). При этом старые секции флотации были остановлены. Замена эксплуатируемых флотомашин ФМР-3,2 на современные флотомашин РИФ 25 (21 камера) и РИФ 8.5 (19 камер), оснащенные системами АССУП-РВ-РИФ, позволила уменьшить общее число камер с 200 до 40, повысить техно-

Таблица 2. Фактические и рекомендуемые показатели обогащения медных и медно-цинковых руд

Показатель	Юбилейная Cu-руда	Сибайская Cu-руда	Камаганская Cu-руда	Камаганская Cu-Zn-руда	Майская Cu-Zn-руда	Итого по ОФ
Содержание в руде, %						
Cu	2,44/1,94	1,93/2,07	1,52/1,33	1,64/1,69	0,77/0,72	2,0/1,68
Zn	0,21/0,2	0,17/0,5	0,73/0,67	1,12/1,53	2,64/4,36	0,54/0,89
Содержание Cu в медном концентрате, %	16,3/20,62	16,21/19,55	15,81/18,19	15,35/19,55	14,6/18,5	16,47/19,72
Извлечение Cu в медный концентрат, %	85,6/87,9	91,14/93,66	88,11/88,89	87,04/86,99	81,03/84,79	87,09/89,56

Примечание. В числителе — фабричные показатели за 2007 г., в знаменателе — результаты лабораторных исследований.

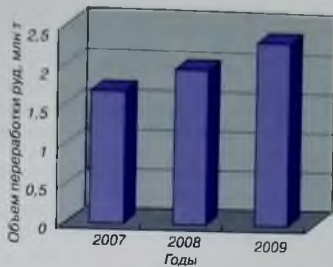


Рис. 2. Динамика переработки руд на Сибайской фабрике

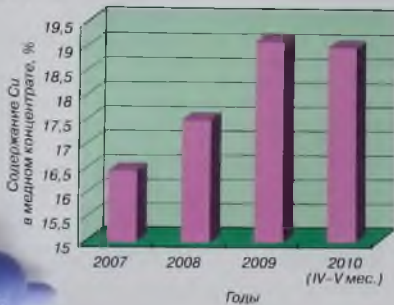


Рис. 3. Содержание меди в медном концентрате на Сибайской ОФ

рующего оборудования, имеющегося на обогатительной фабрике. При этом основную часть в обогатительном сырье на фабрике составляют, %:

- медная руда Юбилейного месторождения — 44–63;
- медная руда Сибайского подземного рудника — 23;
- медная руда Камаганского месторождения — 22–34;
- медно-цинковая руда Майского месторождения — 5–8.

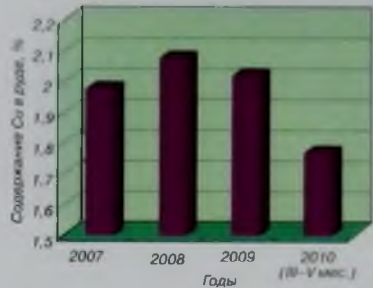


Рис. 4. Содержание меди в рудах, перерабатываемых на Сибайской ОФ

Для обогащения руд на Сибайской ОФ во все операции были рекомендованы к установке пневмомеханические флотационные машины РИФ 25 и РИФ 8.5.

В процессе освоения III секции в 2008 г. при совместной работе коллективов фабрики и СП ЗАО «ИВС» была уточнена технологическая схема и режим переработки медных руд, которые перерабатывали либо отдельно, либо в виде смеси, например руд Юбилейного и Камаганского месторождений в различных соотношениях. Технологическая схема переработки медных руд включает:

- выделение медной «головки» для всех типов руд, перерабатываемых на секции;
- перечистку медной «головки»;
- получение и селекцию богатого по содержанию меди коллективного концентрата.

В ходе освоения III секции Сибайской ОФ, в связи с остановкой старых секций, были объединены сливы I, II и IV секций измельчения, что позволило увеличить производительность фабрики до 290 т/ч. По сравнению с 2007 г. годовая производительность Сибайской ОФ за 2008–2009 гг. повысилась на 30 % и достигла 2,3 млн т руды в год (рис. 2). При этом старые секции флотации были остановлены. Замена эксплуатируемых флотомашин ФМР-3,2 на современные флотомашины РИФ 25 (21 камера) и РИФ 8.5 (19 камер), оснащенные системами АССУП-РВ-РИФ, позволила уменьшить общее число камер с 200 до 40, повысить техно-

Таблица 2. Фактические и рекомендуемые показатели обогащения медных и медно-цинковых руд

Показатель	Юбилейная Cu-руда	Сибайская Cu-руда	Камаганская Cu-руда	Камаганская Cu-Zn-руда	Майская Cu-Zn-руда	Итого по ОФ
Содержание в руде, %						
Cu	2,44/1,94	1,93/2,07	1,52/1,33	1,64/1,69	0,77/0,72	2,0/1,68
Zn	0,21/0,2	0,17/0,5	0,73/0,67	1,12/1,53	2,64/4,36	0,54/0,89
Содержание Cu в медном концентрате, %	16,3/20,62	16,21/19,55	15,81/18,19	15,35/19,55	14,6/18,5	16,47/19,72
Извлечение Cu в медный концентрат, %	85,6/87,9	91,14/93,66	88,11/88,89	87,04/86,99	81,03/84,79	87,09/89,56

Примечание. В числителе — фабричные показатели за 2007 г., в знаменателе — результаты лабораторных исследований.

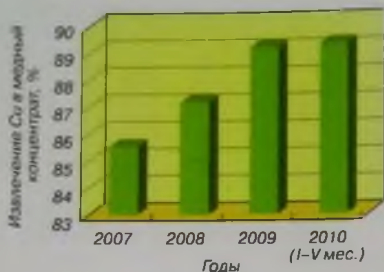


Рис. 5. Извлечение меди в медный концентрат при переработке руды Юбилейного месторождения

логические показатели обогащения, снизить энергозатраты и эксплуатационные расходы.

На рис. 3 показана динамика повышения качества медного концентрата, получаемого на Сибайской ОФ за период с 2007 по 2009 г., до и после реконструкции.

Как следует из приведенных данных, в результате реконструкции Сибайской ОФ содержание меди в медном концентрате увеличилось с 16,4 до 19,1 %.

На рис. 4 показано изменение содержания меди в перерабатываемых рудах за тот же период — до и после реконструкции флотационного отделения. Следует отметить, что, несмотря на снижение содержания меди в перерабатываемой руде за пять месяцев 2010 г., качество общего медного концентрата сохранено на уровне 19 % (см. рис. 3).

Поскольку основную часть перерабатываемых на Сибайской ОФ руд — до 63 % — составляет медная руда Юбилейного месторождения, то и основное количество металлов извлекается именно из данного месторождения.

На рис. 5 показано извлечение меди в медный концентрат, достигнутое на Сибайской ОФ за период с 2007 по 2010 г. при переработке медной руды Юбилейного месторождения.

Как следует из приведенных данных, извлечение меди за рассматриваемый период — до и после реконструкции III секции — возросло с 85,56 до 89,1 %. При этом общее извлечение меди в целом по Сибайской ОФ также увеличилось с 87 до 88,4 %.

В ходе второго этапа лабораторных исследований (2008 г.), направленных на повышение содержания меди в концентрате до 20 %, была уточнена схема и реагентный режим флотации. В табл. 2 приведены результаты лабораторных исследований и сопоставлений с фактически достигнутыми показателями на Сибайской ОФ в 2007 г.

Для повышения качества медного концентрата рекомендовано использовать сочетание бутилового

ксантогената и водорастворимого собирателя фирмы Сутек<sup>®</sup>. При этом качество медного концентрата в целом по фабрике составит 19,7 % при извлечении 89,6 %.

#### Выводы

1. На Сибайской ОФ разработана и внедрена совместными усилиями специалистов комбината и СП ЗАО «ИВС» новая технология переработки руд различных типов.

2. Модернизация флотационного отделения главного корпуса Сибайской ОФ позволила:

- увеличить объем переработки руды с 1,5 млн до 2,3 млн т в год;

- повысить содержание меди в концентрате с 16,4 до 19,1 %;

- повысить извлечение меди в целом по Сибайской ОФ с 85,56 до 89,1 %, а при переработке руды Юбилейного месторождения — с 87 до 89,1 %;

- с 2008 г. по настоящее время увеличить ежегодный выпуск меди на 780 т.

3. В лабораторных условиях показана возможность дальнейшего повышения содержания меди в целом по Сибайской ОФ до ~19 % при извлечении ~89,6 %. □

Гибадуллин Закария Равгатович,  
e-mail: ugok@ugok.ru

Мингажев Альберт Жамилевич,  
тел.: (34791) 6-20-03

Калинин Евгений Петрович,  
тел.: (34791) 9-58-30

Немчинова Лариса Анатольевна,  
тел.: (34791) 9-58-89

Ткаченко Марина Ивановна,  
тел.: (34791) 9-58-89

#### RECONSTRUCTION OF SIBAYSKY BENEFICIATION PLANT USING TECHNOLOGY AND EQUIPMENT DEVELOPED BY "NPO "RIVS"

Gibadullin Z. R., Mingazhev A. Zh., Kalinin E. P.,  
Nemchinova L. A., Tkachenko M. L.

The results of laboratorial and industrial tests for beneficiation of copper and copper-zinc ores at the beneficiation plant of Sibaysky branch of "Uchalinsky Mining and Concentration Plant" after realization of reconstruction of 3rd flotation section have been presented. Developed technological scheme and conditions of flotation beneficiation of copper and copper-zinc ores from different deposits, processing at the beneficiation plant, allow to raise copper content in copper concentrate with simultaneous raising of metal extraction.

**Key words:** Sibaysky beneficiation factory, copper and copper-zinc ores, flotation, reconstruction, reagent conditions, technological parameters.

\* Игнаткина В. А., Бочаров В. А., Пунцуква Б. Т. Применение композиций модифицированных собирателей для снижения флотиремости пирита при флотации сульфидных руд — Изд-во ИГД СО РАН, 2009.



УДК 622.765

К. С. САНАКУЛОВ, Н. Р. РУЗИЕВ (ГП «Навотисамий ГМК»)  
М. А. АРУСТАМЯН, Ю. А. СМИРНОВ (ЗАО «НПО «РИВС»)

## ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА «ПОД КЛЮЧ» ЗАРМИТАНСКОЙ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ



**К. С. САНАКУЛОВ,**  
генеральный директор,  
д-р техн. наук



**Н. Р. РУЗИЕВ,**  
начальник Управления  
инвестиционных проектов,  
канд. техн. наук



**М. А. АРУСТАМЯН,**  
исполнительный  
директор,  
канд. техн. наук



**Ю. А. СМИРНОВ,**  
зам. главного инженера  
проекта

*В Республике Узбекистан на базе месторождений Зармитанской золоторудной зоны в кратчайшие сроки (менее чем за год) построена и введена в эксплуатацию I очередь Зармитанской золотоизвлекательной фабрики. Приведено описание технологической схемы.*

**Ключевые слова:** Зармитанская золоторудная зона, золотоизвлекательная фабрика, проектирование, строительство, гравитационное обогащение, цианирование.

Произведенная в 2005 г. оценка запасов месторождений Чармитан, Гужумсай и Промежуточное в Зармитанской золоторудной зоне показала целесообразность строительства на базе этих месторождений горнорудного комплекса.

В августе 2009 г. Президентом Республики Узбекистан Исламом Абдуганиевичем Каримовым принято решение о строительстве перерабатывающего комплекса на базе месторождений Зармитанской золоторудной зоны в рамках Инвестиционной программы Республики Узбекистан. Для ускорения реализации проекта получено разрешение на параллельное проектирование и строительство комплекса.

Ввод мощностей Зармитанской золотоизвлекательной фабрики запланирован в две очереди, про-

изводительностью 1 млн т руды в год с последующим увеличением до 1,8 млн т.

В условиях мирового экономического кризиса благодаря грамотной экономической политике Республики Узбекистан строительство нового предприятия началось в запланированные сроки.

В середине августа 2009 г. был заложен фундамент нового золотоизвлекательного комплекса на площадке Зармитан.

В соответствии с постановлением Президента Республики Узбекистан «Утверждение ТЭО проекта «Строительство горнорудного комплекса на базе месторождения Зармитанской золоторудной зоны Второй этап — месторождение Гужумсай» генеральным подрядчиком по проектированию, поставке оборудования со сдачей «под ключ» определено СП ЗАО «ИВС» (ЗАО «НПО «РИВС»).

Для СП ЗАО «ИВС» это не первое ответственное поручение в рамках исполнения инвестиционных программ Республики Узбекистан.

Начиная с 2000 г. компания активно принимает участие в выполнении проектных, инженеринговых, научно-исследовательских работ и поставке современного технологического оборудования для горно-металлургических комбинатов. На ГП НГМК, помимо строительства ГМЗ-4, СП ЗАО «ИВС» участвует в совершенствовании технологии сульфидной флотации.

Гидрометаллургический завод № 4 призван стать флагманом как по технологическому, так и по техническому оснащению основного производства с соответствующим уровнем извлечения основного металла — золота.





На начальном этапе выпуска рабочей документации проекта СП ЗАО «ИВС» выполнены исследования по разработке оптимальной технологии переработки золотосодержащих руд месторождения Чармитан по всем основным технологическим переделам обобщены результаты работ, ранее выполненных другими компаниями и научно-исследовательскими институтами.

В условиях опытно-промышленной лаборатории специалистами СП ЗАО «ИВС» совместно со специалистами ГП НГМК проведены полупромышленные испытания, подтвердившие результаты лабораторных исследований.

На основании научно-исследовательских работ и полупромышленных испытаний осенью 2009 г. генеральным подрядчиком разработан технологический регламент на проектирование ГМЗ-4, где окончательно сформирована технологическая схема и режим переработки руды во всех технологических переделах завода, выбрано основное и вспомогательное оборудование.

Применяемая на ГМЗ-4 схема переработки золотосодержащей руды уникальна как для Республики Узбекистан, так и для стран постсоветского пространства.

Дробленая в одну стадию руда поступает на открытый рудный склад, где распределяется с помощью реверсивного конвейера по наполным складам I и II очереди, откуда направляется в корпус обогащения.

Измельченная до необходимой крупности руда подвергается гравитационному обогащению в концентраторах типа Falcon. Гравитационный концентрат подвергается интенсивному цианированию в реакторах GEKKO, а затем направляется на электролиз. Хвосты гравитационного цикла поступают на цианирование и сорбцию. Товарными продуктами ГМЗ-4 при переработке руды по принятой технологической схеме являются ступенное золото и насыщенная золотом смола, поступающие в дальнейший металлургический передел.

Учитывая сжатые сроки ввода в эксплуатацию I очереди ГМЗ-4, проектирование велось опережающими темпами, обеспечивая необходимой документацией заказчика – Южное рудоуправление НГМК и подрядные строительные организации.

В рамках осуществления авторского надзора за строительством и решения оперативных вопросов на объекте было организовано постоянное присутствие специалистов генерального подрядчика (СП ЗАО «ИВС») и подрядной организации «Узгео-рангметлит».

Засушливые климатические условия и, как следствие, отсутствие достаточного для производственного процесса количества технической воды потребовали уделить особое внимание обеспечению завода гидроресурсами. Основными источниками водоснабжения ГМЗ-4 определены шахта «Главная» рудника «Зармитан» и водохранилище «Тусунсай». Своевременное строительство водоводов позволило без задержки подготовить завод к

пуску, а предусмотренная проектом система обратного водоснабжения внутреннего и внешнего водооборота обеспечила существенное сокращение расхода свежей воды.

Навийский ГМК, имея огромный положительный опыт и серьезные возможности в строительстве объектов горнорудной промышленности, максимально использовал свой потенциал и материальную базу в реализации нового проекта. Основной объем строительно-монтажных работ выполнен силами Новойского ГМК.

На строительстве I очереди ГМЗ-4 были задействованы лучшие людские и материальные ресурсы комбината и подрядных организаций. В общей сложности на площадке работало более 1000 человек.

В феврале 2010 г. закончена сборка и установка под открытым небом на фундаменте мельниц мокрого самоизмельчения ММС-7,0×2,3 и шаровых мельниц МШЦ-4500×6000, выполнен большой объем земляных работ.

К маю 2010 г. основной объем строительных работ на площадке был закончен, корпуса большинства цехов возведены, начался монтаж и обвязка основного и вспомогательного технологического оборудования.

К августу 2010 г. была окончательно смонтирована и обвязана технологическая схема I очереди ГМЗ-4, полностью укомплектован штат сотрудников завода, осуществлена прокрутка на холостом ходу технологического оборудования, началась завозка забалансовой руды на пусконаладочные работы.

Пусконаладка I очереди ГМЗ-4 осуществлялась поэтапно: 5 августа руда с рудного склада была подана в главный корпус, запущены измельчительно-классифицирующее оборудование, циклы гравитационного обогащения и сгущения, получен первый в истории ГМЗ-4 золотосодержащий гравитационный концентрат.

В дальнейшем был осуществлен запуск остальных переделов технологической цепочки I очереди.

Пусконаладочные работы были завершены к 29 августа 2010 г.

Торжественное открытие гидromеталлургического завода состоялось 30 августа 2010 г., на котором были отмечены высокие темпы исполнения работ по строительству I очереди ГМЗ-4, начиная с проектирования и заканчивая вводом в эксплуатацию, состоялось награждение участников проекта.

Первая очередь ГМЗ-4 построена и введена в эксплуатацию менее чем за год. Сейчас новое производство выдает товарную продукцию, обеспечивая исполнение государственного заказа и Инвестиционной программы Республики Узбекистан. Продолжается строительство II очереди ГМЗ-4 с последующим выводом завода на переработку 1,8 млн т руды в год.

Учитывая положительный опыт реализации совместных проектов, ГП НГМК и СП ЗАО «ИВС» продолжают работы по совершенствованию технологии переработки руды на ГМЗ-4. Важным направлением в этой области является применение метода флота-





ционного обогащения для сульфидных руд перспективной добычи, позволяющего, помимо повышения технологических показателей, значительно сократить расход цианидов и уменьшить нагрузку на передел сорбционного выщелачивания. □

Санакулов Кувандяк Санакулович,  
e-mail: info@ngmk.uz

Рузиев Немат Рузиевич,  
e-mail: info@ngmk.uz

Арустамян Михаил Армаисович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

Смирнов Юрий Александрович,  
e-mail: rivs@rivs.ru

#### EXPERIENCE IN DESIGNING AND "TURN KEY" CONSTRUCTION AT ZARMITANSKAYA GOLD EXTRACTING PLANT

Sanakulov K. S., Ruziev N. R.,

Arustamyan M. A., Smirnov Yu. A.

The 1 stage of Zarmitanskaya gold extracting plant has been constructed and put in operation in the Uzbekistan Republic on the base of deposit of Zamiranskaya gold ore area in close timeframe (less than a year). Description of technological scheme has been presented.

**Key words:** Zarmitanskaya gold ore area, gold extracting plant, designing, construction, gravitation beneficiation, cyanidation.



[www.rivs.ru](http://www.rivs.ru)

17–18 ноября 2010 года в г. Санкт-Петербурге состоялась научно-практическая конференция «РИВС–2010».

#### Тема конференции:

Архив материалов  
конференции  
на сайте  
<http://rivs.rudmet.ru>

**«Практика применения новых технологий и высокоэффективного оборудования при обогащении полезных ископаемых. Комплексная автоматизация и контроль технологических процессов».**

#### Тематика конференции

- Разработка и внедрение новых технологий обогащения полезных ископаемых с использованием современных селективных флотационных реагентов нового поколения.
- Проектирование и строительство новых горно-обогатительных предприятий.
- Реконструкция существующих обогатительных предприятий с целью снижения затрат на выпуск конечной продукции.
- Повышение производительности существующих отделений рудоподготовки.
- АСУТП обогатительных фабрик, комплексная автоматизация и контроль технологических процессов и переделов обогащения.
- Горно-обогатительное оборудование нового поколения.
- Экология.
- Сервисное обслуживание.

УДК 622.793

Н. А. ЮРЛОВА (ЗАО «РИВС-проект»)

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ И ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА



Н. А. ЮРЛОВА,  
главный специалист,  
д-р биол. наук

В 2004 г. вышла новая редакция Градостроительного кодекса Российской Федерации (ГК РФ) [1], по которой изменен состав проектной документации. В частности, вместо раздела «Охрана окружающей среды» (ООС), согласно п. 12 ст. 48 ГК РФ, в проектную документацию следует включать раздел «Перечень мероприятий по охране окружающей среды» (ПМООС). Основанием к изменению названия раздела ООС по логике новой редакции ГК РФ является перенос подготовки основной части соответствующих обоснований и условий на разработку проектной документации на предыдущие стадии (территориальное проектирование, градостроительное зонирование, планировка территории). Таким образом, может быть реализована идея максимально возможного исключения индивидуализированных условий предоставления земельных участков в пользование, освобождение инвестиционного цикла от исследований, подготовки градостроительного и экологического обоснования. Проект и обосновывающая документация разграничиваются. Появляется возможность укрепления практической значимости мероприятий по охране окружающей среды. Материалы инженерных изысканий являются сопутствующими материалами проекта, а непосредственно в проекте остается только та документация, которая необходима для строительства, контроля за ходом строительства и экологически обеспеченной эксплуатации объекта.

В соответствии со статьей 48 ГК РФ Правительство РФ приняло постановление от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [2] (далее по тексту — Постановление). В разделе «Перечень мероприятий по охране окружающей среды» указанного Постановления в первую очередь должны быть представлены результаты оценки воздействия объекта на окружающую среду (ОВОС). Процесс ОВОС и полученные результаты спо-

*Обозначены подходы к решению экологических вопросов при проектировании объектов и предприятий горнодобывающего комплекса. Результаты исследований, проведенных на стадии разработки раздела «Оценка воздействия на окружающую среду», послужили основой для расчетов по прогнозированию воздействия проектируемых объектов на окружающую среду и объективного определения необходимых технологических решений.*

**Ключевые слова:** оценка воздействия на окружающую среду, флотационный реагент, методика выполнения измерений, проектирование, перечень мероприятий по охране окружающей среды, гигиенические нормативы, градостроительный кодекс РФ.

собствуют принятию экологически ориентированного управленческого решения о реализации намечаемой хозяйственной деятельности посредством определения возможных неблагоприятных воздействий и оценки экологических последствий. В связи с этим чрезвычайно важно при проектировании объектов и предприятий горнодобывающего комплекса, которые оказывают масштабное негативное воздействие на окружающую среду, на стадии проектирования иметь достоверные данные по результатам анализа сточных и сбрасываемых вод, выбросов в атмосферу, отходов производства. Результаты расчетов количества и состава вредных выбросов в атмосферу и сбросов в водные источники, сведения о виде, составе и планируемом объеме отходов производства, подлежащих утилизации и захоронению с указанием класса опасности отходов, должны быть представлены в соответствии с Положением [2] в разделе «Технологические решения». Таким образом, основные экологические позиции проекта формируются уже на ранних стадиях разработки технологических решений для реконструируемых и вновь строящихся обогащательных предприятий. Именно на этапе полупромышленных испытаний в условиях действующей обогащательной фабрики или на специально предусмотренных отделениях производят отбор проб воды и воздуха с целью определения концентрации загрязняющих веществ, а результаты натурных измерений используют для оценки воздействия реализации проекта на состояние компонентов окружающей среды и социально-экономических условий в районе расположения объекта.

В настоящее время горно-обогатительные предприятия активно реконструируют модернизируют технологию обогащения железных концентратов, в том числе с использованием высокоэффективных флотореагентов.

Исходные данные для проектирования базируются на основных положениях технологических регламентов. В технологических разработках ЗАО «НПО «PIBC» широко используются новые поколения флотореагентов различных производителей, в том числе фирм Сутес (США), Clariant (ФРГ). На их основе подготовлены технологические регламенты для проектирования флотационной доводки железных концентратов Кривбасса (ОАО «Центральный ГОК»), ОАО «Карельский окатыш», технологические регламенты для проектирования Хайбуллинской обогатительной фабрики, новой секции на Учалинской обогатительной фабрике и других производств.

Для разработки раздела ОВОС проектируемых объектов необходимо было провести не только оценку воздействия всего проектируемого объекта в целом, но и эколого-гигиеническую оценку воздействия новых для Российской Федерации флотореагентов на объекты окружающей среды. Такого рода работа в первую очередь предусматривает изучение данных по безопасности реагентов, предоставляемых фирмой-производителем. В том случае, когда фирма зарубежная, то в соответствии с постановлением Правительства РФ от 01 декабря 2009 г. № 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии» [3], импортная химическая продукция подлежит обязательному подтверждению соответствия. Кроме того, согласно Федерального закону «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [4], химическая продукция производственного назначения должна пройти санитарно-эпидемиологическую экспертизу, и на нее должно быть оформлено санитарно-эпидемиологическое заключение. Поэтому в проекте в разделе ПМОС должны быть представлены не только паспорта безопасности флотореагентов, но и санитарно-гигиенические заключения, удостоверяющие соответствие продукции гигиеническим нормативам, сами нормативы, указаны методики выполнения количественного измерения остаточного содержания флотореагентов в воздушной, водной и твердой фазах. Методики выполнения измерений содержания флотореагентов в твердой фазе достаточно трудоемки, поэтому аккредитованные аналитические лаборатории на предприятиях горнодобывающей отрасли практически не разрабатывают и не пользуются этими методиками. Считается, что определение остаточных концентраций флотореагентов в воде и воздухе вполне достаточно для экологических и санитарно-гигиенических целей. Однако на стадии проектирования без использования такого рода методик невозможно определить остаточное содержание флотореагентов в твердой фазе отходов флотационного обогащения — в отвалных хвостах, транспортируемых в хвостохранилище. Следовательно, невозможно с достаточной достоверностью определить их класс опасности. Класс опасности

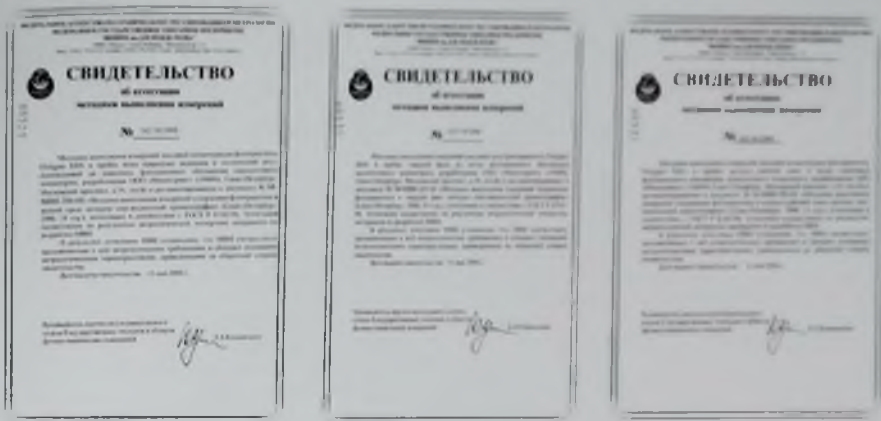
отходов определяет нормативы платы за размещение отходов производства. Для предприятий горнодобывающей отрасли плата за размещение отходов производства, т.е. хвосты обогащения являются основными отходами производства как по объему, так и по оплате за их размещение является существенной статьей расходов [5].

Как правило, содержание флотореагентов в отходах определяется расчетным методом, исходя из расхода флотореагента и его содержания в водной фазе, а также водно-шламового баланса. Класс опасности отходов устанавливается по степени возможного вредного воздействия на окружающую природную среду (ОПС) при непосредственном и опосредованном воздействии опасного отхода на ОПС. Однако при таком расчетном способе определения содержания флотореагентов в твердых отходах (в связи с отсутствием или игнорированием использования разработанной методики определения флотореагентов в твердых отходах) может быть завышено содержание этого флотореагента, так как не учтено разложение флотореагентов в процессе флотации и при хранении отходов. Кроме того, на стадии проектирования при разработке ОВОС следует оценить, возможна ли десорбция флотореагентов с твердой фазы хвостов обогащения в водную фазу, т.е. в воду хвостохранилища, что увеличивает концентрацию флотореагентов в сбрасываемой из хвостохранилища воде. Отсутствие данных о процессах «поведения» флотореагентов в объектах окружающей среды не позволяет спрогнозировать возможные аварийные ситуации, последствия их воздействия на экосистему региона, а также не позволяет принять обоснованные решения по очистке сточных вод и предотвращению их аварийных сбросов. Несмотря на то, что предприятия работают с использованием замкнутого цикла оборотного водоснабжения, определенная доля воды хвостохранилища сбрасывается и, как правило, в водные объекты, имеющие рыбохозяйственное значение. Согласно ст. 60 Водного кодекса РФ [6], при эксплуатации водохозяйственной системы запрещается сброс в водные объекты сточных вод, в которых содержатся вредные вещества, для которых не установлены нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК).

Таким образом, для разработки раздела проекта ОВОС (при проектировании обогатительных фабрик) и последующих рекомендаций по охране окружающей среды следует в случае использования новых для Российской Федерации флотореагентов на стадии разработки технологических решений иметь или разработать:

- гигиенические нормативы загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, в воздухе рабочей зоны, в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, в воде водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение (в случае сброса воды из хвостохранилища в водные объекты, имеющие рыбохозяйственное значение);
- санитарно-гигиенические заключения на признающие используемой продукции (реагентов) соответствующей санитарным правилам;
- аттестованные методики выполнения измерений массовой концентрации флотореагентов в объектах окружающей среды (в пробах воды, воздуха, твердой фазы);





**Рис. 1.** Свидетельства об аттестации методик выполнения измерений массовой концентрации флотореагента Flotigam EDA в пробах вод природных водоемов и технической воде, воздуха рабочей зоны, в пробах твердой фазы

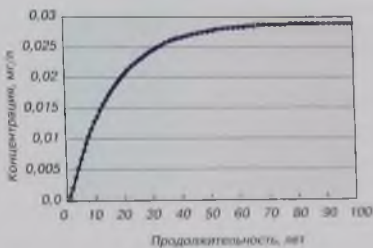
■ вещественный состав технологических продуктов в форме протокола количественного химического анализа, выполненного аккредитованной аналитической лабораторией.

Такого рода проблема возникла при разработке ОВОС на проектирование флотационной доводки железных концентратов ОАО «Карельский окатыш». Технологической группой ЗАО «НПО «РИВС» для флотационной доводки магнетитовых концентратов была рекомендована обратная катионная флотация с использованием собирателей фирмы Clariant [7]. С целью достоверной оценки воздействия намечаемого проекта на ОПС были разработаны и аттестованы методики (с применением метода газожидкостной хроматографии) измерений содержания указанных реагентов (новых для Российской Федерации) в воздухе, водной среде и твердой фазе хвостов обогащения (рис. 1). С использованием этих методик, зарегистрированных в Федеральном реестре методик выполнения измерений [8–10], было определено содержание флотореагентов в технологических продуктах. Для эколого-гигиенической оценки технологии флотационного обогащения целесообразно было проанализировать изменение состава твердой и жидкой фазы хвостов обогащения во времени, так как возможны процессы разложения флотореагентов, переход сорбированных на минералах флотореагентов в раствор. В эксперименте была показана способность модифицированных аминов фирмы Clariant сорбироваться на твердой фазе хвостов мокрой магнитной сепарации. Было обнаружено, что в процессе флотации модифицированные амины претерпевают химические превращения. С при-

менением хроматомасс-спектрометрического анализа продуктов флотации, помимо модифицированных аминов с углеводородными радикалами  $C_{12}-C_{18}$  были обнаружены другие вещества — умеренно или малоопасные (см. таблицу).

Подобные соединения были идентифицированы при исследовании образцов хвостов после их хранения при разных температурах, в продуктах десорбции флотореагентов с твердой фазы хвостов в жидкую. Таким образом, в лабораторных экспериментах было показано, что под влиянием физико-химических факторов (температуры, ионного состава воды) флотореагенты претерпевают структурные и химические превращения, снижающие их остаточную концентрацию в технологических продуктах. Образующиеся продукты химического превращения модифицированных аминов флотореагента Flotigam EDA — умеренно- или малоопасны.

Для эколого-гигиенической оценки воздействия проектируемых объектов на окружающую среду необходим анализ процессов изменения состава твердой и жидкой фаз хвостов в хвостохранилище. Основным направлением оценки воздействия флотореагентов на окружающую водную среду должно стать исследование их аккумуляции в воде. На примере ОАО «Карельский окатыш» был проведен теоретический расчет изменения концентрации флотореагентов (модифицированных аминов) в хвостохранилище. Установлено, что их концентрация без учета десорбции и разложения ежегодно будет расти в течение 70 лет, и по истечении указанного срока будет ниже норматива ПДК для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водо-



**Рис. 2.** Прогноз изменения концентрации модифицированных аминов в воде хвостохранилища

**Предельно допустимые концентрации продуктов химического превращения модифицированных аминов в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения**


Наименование вещества	Химическая формула	ПДК, мг/л	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
Капролактам	$C_6H_{11}NO$	1	Общесанитарный	IV (малоопасный)
Изопропиловый спирт	$C_3H_8O$	0,25	Органолептический, изменяет запах воды	IV (малоопасный)
Тетрапропиленгликоль	$C_7H_{16}O_2$	0,6	Общесанитарный	III (умеренно-опасный)

пользования в 1,4 раза (рис. 2). В экспериментальных исследованиях была обнаружена способность флотореагентов как сорбироваться на твердой фазе хвостов, так и со временем десорбироваться. Причем установлено, что сорбированный на твердой фазе хвостов флотореагент подвержен процессам разложения (см. таблицу). Кроме того, следует учесть, что флотореагенты органической природы, в том числе и модифицированные амины, под воздействием естественной микрофлоры водной среды подвержены биоразложению. Следовательно, с учетом биоразлагаемости органических флотореагентов со временем будет происходить снижение их концентрации в воде хвостохранилища и объектах окружающей среды.

Результаты исследований, выполненных в ходе проектирования, послужили основой для расчетов по прогнозированию воздействия флотореагентов на окружающую среду и позволили объективно определить технологические решения, обеспечивающие надежность, санитарную и экологическую безопасность, определить мероприятия в составе проекта, уменьшающих, смягчающих или предотвращающих негативные последствия. При планировании инвестиционной деятельности заказчиком следует учитывать время для подготовки ОВОС.

#### Библиографический список

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации (29 декабря 2004, № 190-ФЗ с изменениями от 27 декабря 2009 г.).
2. Постановление от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» (с изменениями от 21 декабря 2009 г.).
3. Постановление от 1 декабря 2009 г. № 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии».
4. Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (с изменениями от 30 декабря 2008 г., редакция, действующая с 26 декабря 2009 г.).
5. Постановление Правительства РФ от 12 июня 2003 г. № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления» (с изменениями от 1 июля 2005 г.).

6. Федеральный закон от 4 декабря 2006 г. № 201-ФЗ «Водный кодекс Российской Федерации» (с изменениями от 27 декабря 2009 г.).
7. Шумская Е. Н., Назаров Ю. П., Смирнов Ю. А. и др. Повышение качества железных концентратов способом обратной катионной флотации // Горный журнал. — 2008. — Специальный выпуск.
8. Регистрационный код методики выполнения измерений по Федеральному реестру ФР.1.31.2008.05117. М-МВИ-206-08 «Методика выполнения измерений содержания флотореагента в водной среде методом газожидкостной хроматографии». Свидетельство об аттестации методики выполнения измерений № 242/38-2008 от 15.05.2008 г.
9. Регистрационный код методики выполнения измерений по Федеральному реестру ФР.1.31.2008.05118. М-МВИ-207-08 «Методика выполнения измерений содержания флотореагента в твердой среде методом газожидкостной хроматографии». Свидетельство об аттестации методики выполнения измерений № 242/39-2008 от 15.05.2008 г.
10. Регистрационный код методики выполнения измерений по Федеральному реестру ФР.1.31.2008.05119. М-МВИ-208-08 «Методика выполнения измерений содержания флотореагента в воздухе рабочей зоны методом газожидкостной хроматографии». Свидетельство об аттестации методики выполнения измерений № 242/40-2008 от 15.05.2008 г. 

Юрлова Надежда Александровна,  
e-mail: rivs@rivs.ru

#### ECOLOGICAL ASPECTS IN DESIGNING OF OBJECTS AND ENTERPRISES OF MINING INDUSTRIAL COMPLEX Yurlova N. A.

Approaches to solution of ecological problems in designing of objects and enterprises of mining industrial complex were designated. Results of researches, realized at the step of development of section "Estimation of influence on the environment", has been used as a base for forecast computations of influence of designing objects on the environment and objective determination of necessary technological solutions.

**Key words:** flotation reagent, ecology evaluation, measuring technique, designing, environment protection, hygienic regulations, RF urban planning code.

# Решения для горно-обогатительного производства



## Увеличьте эффективность Вашего производства

благодаря современным решениям Schneider Electric по комплексной автоматизации горно-обогатительного производства

### Ваши задачи

- > Увеличение прибыли
- > Сокращение производственных расходов
- > Увеличение срока эксплуатации оборудования
- > Устойчивое развитие предприятия:
  - защита людей и здоровья служащих
  - снижение негативного влияния на окружающую среду

> Познajte возможности  
вашей энергии

### Наша компетенция

- > Создание автоматизированных систем управления технологическими процессами АСУТП и систем электроснабжения на всех переделах горно-обогатительного производства
- > Создание интегрированной системы управления энергоресурсами
- > Создание исполнительной системы производства MES AMPLA
  - система диспетчеризации производства в реальном времени
  - Online определение себестоимости продукции
  - учет и анализ простоев оборудования
  - система оперативного планирования производства (функции оптимизации производства)
  - автоматизация центральной заводской лаборатории
  - сведение материального и энергетического балансов
  - интеграция с ERP-системами



Узнайте мнение экспертов о том, как экономить энергию!

Загрузите БЕСПЛАТНО эту информационную статью и получите шанс выиграть iPad!

Зайдите на веб-сайт [www.SEreply.com](http://www.SEreply.com) и введите код 829121  
Центр поддержки клиентов: 8 800 200-64-46  
(звонок по России бесплатный)

**Schneider**  
Electric





# КарГорМаш

ТОВАРИЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

и



предлагают к поставке продукцию мировых лидеров в области производства фильтров, смазочных материалов и рукавов высокого давления для горной и строительной техники



Donaldson.  
Filtration Solutions



Цель для наших заказчиков: максимально увеличить производительность техники и уменьшить затраты на ее ремонт.

Фильтры производства Donaldson и Fleetguard для всех типов двигателей импортного оборудования.



Рукава высокого давления и фитинги фирмы Parker.



Смазочные материалы фирмы International: масла для двигателей, КПП, мостов, гидравлики.



Всю работу по доставке грузов и таможенной очистке мы берем на себя!



Россия: г. Москва, тел. (495) 223-1293; e-mail: kaz.can.ru@gmail.com  
Казакстан: 100004, г. Караганда, ул. Орлова, 99/1  
тел./факс: (721-2) 44-11-82, 44-09-03, 44-06-08; e-mail: kaz-can@mail.ru



КОМИТЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ,  
ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ И ТОРГОВЛИ  
АДМИНИСТРАЦИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ имени Г.В. ПЛЕШАНОВА  
(технический университет)



ИННОВАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ



**21** ТЕХНОЛОГИИ  
ГОРНОЕ ДЕЛО  
В Е К МЕТАЛЛУРГИЯ

11-12 ноября 2010  
Санкт-Петербург

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

## ТЕХГОРМЕТ-21 ВЕК

**«Инновационные разработки и достижения  
для повышения эффективности производственных процессов  
на предприятиях горно-металлургического комплекса»**



**Участники  
ведущие российские и зарубежные:**

- производственные предприятия отрасли;
- проектные и научно-исследовательские институты;
- производители высокотехнологичного оборудования;
- технические вузы.

### Горное производство

- Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом
- Подземная разработка месторождений полезных ископаемых
  - *рудные месторождения;*
  - *пластовые месторождения;*



### Обогатительно-металлургическое производство

- Обогащение полезных ископаемых
- Metallurgical refining



Подробная информация о конференции  
и правила участия на официальном сайте

[www.tehgormet.ru](http://www.tehgormet.ru)

Тел.: 8 (921) 782 43 83;  
Факс: 8 (812) 643-28-70;  
E-mail: [info@tehgormet.ru](mailto:info@tehgormet.ru)



## БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ПРОИЗВОДСТВА ЗАО «МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ХОЛДИНГ» В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ РОССИИ И ЗАРУБЕЖЬЯ



**В. В. ЛЮХАНОВ,**  
директор



**С. Б. АЛФЕРОВ,**  
директор по продажам

(ЗАО «Машиностроительный Холдинг»)

Авторы статьи продолжают знакомить читателей «Горного журнала» с работой бурового оборудования и бурового инструмента производства ЗАО «Машиностроительный холдинг» (ЗАО «МХ»), г. Екатеринбург, в промышленных условиях горных предприятий России и зарубежья.

**Юго-Восточная Азия.** В 1970–1980-е годы многие горнодобывающие предприятия Юго-Восточной Азии применяли горную технику, буровое оборудование, буровой инструмент, а также запасные части производства машиностроительных заводов Советского Союза. В период приватизации 1990-х годов большинство российских предприятий, в том числе и горного машиностроения, значительно сократили объемы выпускаемой продукции и затормозились в совершенствовании технологий, а оставшись без поддержки и контроля государственных структур, вынуждены были самостоятельно развиваться по законам рыночной экономики. В этот период многие рынки сбыта для российских производителей горного оборудования оказались утраченными и были заняты производителями Швеции, Японии, США, Германии, Финляндии, Китая и других стран.

В настоящее время, несмотря на мировой финансовый кризис 2008 г., горнодобывающие предприятия Юго-Восточной Азии переживают период бурного развития. В связи с этим возможности поставки бурового оборудования российских производителей для горных предприятий Юго-Восточной Азии можно характеризовать как достаточно перспективные. Российским производителям машиностроительного комплекса приходится заново завоевывать свое «место под солнцем» и реализовывать продукцию в условиях жесточайшей конкуренции, когда на первый план выходят технологические, качественные, инновационные, эксплуатационные и экономические показатели выпускаемой продукции. Отметим, что это положение относится к рынкам не только Юго-Восточной Азии, но и всего мира.

В течение шести лет ЗАО «МХ» постоянно проводит промышленные испытания и осуществляет поставки бурового оборудования и бурового инструмента для горнодобывающих предприятий Юго-Восточной Азии. Продукция производства ЗАО «МХ» применяется во Вьетнаме, Корее, Лаосе, Камбодже, Таиланде, Малайзии. Конкурентные преимущества продукции ЗАО «МХ» подтверждены многочисленными испытаниями, проведен-

ными сервисными специалистами компаний из горнодобывающих и машиностроительных стран.

Последние испытания бурового инструмента производства ЗАО «МХ» в Юго-Восточной Азии проводились во Вьетнаме на карьере строительного сырья горного предприятия Дананг и Ханой. На карьере Дананга для бурения скальных пород применяют пневмударные буровые станки и инструмент преимущественно российского и китайского производства. Пневмударное бурение рассчитанное на давление воздуха до 0,7 МПа. Для разрушения горной породы применяют пневмударный буровой инструмент в основном буровые коронки лезвийного вооружения К-110 с пневмударниками П-110-2,8МР бесклапанного воздушораспределения, байонетного (шарикоролькового) соединения с буровой коронкой. В том числе и производства ЗАО «МХ». Ввиду несовершенства конструкции байонетного соединения буровой коронки с пневмударником, а также в связи с лезвийным вооружением буровых коронок К-110 при ведении буровых работ наблюдаются обрывы хвостовиков буровых коронок, при бурении трещиноватых пород происходит подклинивание лезвий твердого сплава буровых коронок и, как следствие, сколы, выпадения лезвий или обрывы секторов коронок. С такой ситуацией специалистам ЗАО «МХ» приходилось сталкиваться, поэтому на рынок Юго-Восточной Азии вместе с лезвийными коронками К-110М были поставлены штыревые буровые коронки КНШ-110БШКЕ40, у которых вместо байонетного предусмотрено шлицевое соединение с пневмударником. Серийные лезвийные буровые коронки К-110М производства ЗАО «МХ» и других изготовителей в условиях карьеров Дананга в среднем проходят по 55–60 м с несколькими заточками твердого сплава, а буровые коронки КНШ-110БШКЕ40 (рис. 1) показали среднюю наработку, в 5–6 раз большую — 340–350 м. В связи с отсутствием необходимого оборудования заточку буровых коронок КНШ-110БШКЕ40 не производили, что не позволило достигнуть максимального результата. Комиссией и машинистами буровых установок отмечено полное отсутствие поломок хвостовиков шлицевых буровых коронок КНШ-110БШКЕ40. Столь же высоко зарекомендовали себя и пневмударники П-110-2,8Ш



Буровые работы с помощью пневмударного инструмента ЗАО «МХ» на карьере г. Дананга, Вьетнам



## БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ПРОИЗВОДСТВА ЗАО «МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ХОЛДИНГ» В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ РОССИИ И ЗАРУБЕЖЬЯ



**В. В. ЛЮХАНОВ,**  
директор  
(ЗАО «Машиностроительный Холдинг»)



**С. Б. АЛФЕРОВ,**  
директор по продажам

Авторы статьи продолжают знакомить читателей «Горного журнала» с работой бурового оборудования и бурового инструмента производства ЗАО «Машиностроительный холдинг» (ЗАО «МХ»), г. Екатеринбург, в промышленных условиях горных предприятий России и зарубежья.

**Юго-Восточная Азия.** В 1970–1980-е годы многие горнодобывающие предприятия Юго-Восточной Азии применяли горную технику, буровое оборудование, буровой инструмент, а также запасные части производства машиностроительных заводов Советского Союза. В период приватизации 1990-х годов большинство российских предприятий, в том числе и горного машиностроения, значительно сократили объемы выпускаемой продукции и затормозились в совершенствовании технологий, а оставшись без поддержки и контроля государственных структур, вынуждены были самостоятельно развиваться по законам рыночной экономики. В этот период многие рынки сбыта для российских производителей горного оборудования оказались утраченными и были заняты производителями Швеции, Японии, США, Германии, Финляндии, Китая и других стран.

В настоящее время, несмотря на мировой финансовый кризис 2008 г., горнодобывающие предприятия Юго-Восточной Азии переживают период бурного развития. В связи с этим возможности поставки бурового оборудования российских производителей для горных предприятий Юго-Восточной Азии можно характеризовать как достаточно перспективные. Российским производителям машиностроительного комплекса приходится заново завоевывать свое «место под солнцем» и реализовывать продукцию в условиях жесточайшей конкуренции, когда на первый план выходят технологические, качественные, инновационные, эксплуатационные и экономические показатели выпускаемой продукции. Отметим, что это положение относится к рынкам не только Юго-Восточной Азии, но и всего мира.

В течении шести лет ЗАО «МХ» постоянно проводит промышленные испытания и осуществляет поставки бурового оборудования и бурового инструмента для горнодобывающих предприятий Юго-Восточной Азии. Продукция производства ЗАО «МХ» применяется во Вьетнаме, Корее, Лаосе, Камбодже, Таиланде, Малайзии. Конкурентные преимущества продукции ЗАО «МХ» подтверждены многочисленными испытаниями, проведен-

ными специалистами специализированной компании на горнодобывающих предприятиях этих стран.

Последние испытания бурового инструмента производства ЗАО «МХ» в Юго-Восточной Азии проводились во Вьетнаме на карьерах строительного завода горнодобывающих предприятий Дананг и Ханой. На карьерах Дананга для бурения скважин применяют пневмоударные буровые станки и инструмент преимущественно российского, китайского и корейского производства, рассчитанные на давление воздуха до 0,7 МПа. Для разрушения горной породы применяют пневмоударный буровой инструмент в основном буровые коронки лезвийного вооружения К-110 с пневмоударниками П-110-2,8МР бесклапанного воздушораспределения, байонетного (шарикоролкового) соединения с буровой коронкой, в том числе и производства ЗАО «МХ». Ввиду несовершенства конструкции байонетного соединения буровой коронки с пневмоударником, а также в связи с лезвийным вооружением буровых коронок К-110 при ведении буровых работ наблюдаются обрывы хвостовиков буровых коронок, при бурении трещиноватых пород происходит подклинивание лезвий твердого сплава буровых коронок и, как следствие, сколы, выпадения лезвий или обрывы секторов коронок. С такой ситуацией специалистам ЗАО «МХ» приходилось сталкиваться, поэтому на рынок Юго-Восточной Азии вместе с лезвийными коронками К-110М были поставлены штыревые буровые коронки КНШ-110БШКЕ40, у которых вместо байонетного предусмотрено шлицевое соединение с пневмоударником. Серийные лезвийные буровые коронки К-110М производства ЗАО «МХ» и других изготовителей в условиях карьеров Дананга в среднем проходят по 55–60 м с несколькими заточками твердого сплава, а буровые коронки КНШ-110БШКЕ40 (рис. 1) показали среднюю наработку, в 5–6 раз большую — 340–350 м. В связи с отсутствием необходимого оборудования заточку буровых коронок КНШ-110БШКЕ40 не производили, что не позволило достигнуть максимального результата. Комиссией и машинистами буровых установок отмечено полное отсутствие поломок хвостовиков шлицевых буровых коронок КНШ-110БШКЕ40. Столь же высоко зарекомендовали себя и пневмоударники П-110-2,8Ш



Буровые работы с помощью пневмоударного инструмента ЗАО «МХ» на карьере г. Дананга, Вьетнам



Рис. 1 Шлицевая буровая коронка КНШ-110БШКЕ40 до и после проходки 350 м. г. Дананг

(шлицевое соединение с коронкой, ударная мощность — 2,8 кВт) производства ЗАО «МХ», которыми проводили бурение.

С карьерами г. Дананга заключены контракты на поставку бурового инструмента, стороны также договорились о дальнейшем сотрудничестве. После завершения успешных испытаний и в связи с увеличением объемов поставок бурового оборудования на вьетнамские горнодобывающие предприятия ЗАО «МХ» открыло представительство в г. Дананге с целью сопровождения выпускаемой продукции на рынок Юго-Восточной Азии.

В г. Ханой в рамках программы изготовления импортозаменяющей продукции испытания проводили на двух асбестовых карьерах — Duyen Ha и Dong Vai. На карьере Duyen Ha проходили испытания перфораторные буровые коронки КНШ 102-T51.BRS (рис. 2) (номинальный диаметр — 102 мм, резьбовое соединение T51, хвостовая часть буровых коронок исполнения Retrak) производства ЗАО «МХ» и серийные буровые коронки корейского производства.



Рис. 2 Перфораторная буровая коронка КНШ 102-T51.BRS производства ЗАО «МХ»

В условиях карьера Dong Vai испытания подвергались перфораторные, буровые коронки КНШ 115-

T51.BRS (рис. 3) (номинальный диаметр — 115 мм, резьбовое соединение T51, хвостовая часть буровых коронок исполнения Retrak) производства ЗАО «МХ» и буровые коронки японского производства.



Рис. 3 Перфораторная буровая коронка КНШ 115-T51.BRS производства ЗАО «МХ»

Комиссии из числа специалистов карьеров Duyen Ha и Dong Vai отметили, что буровые коронки КНШ 102-T51.BRS и КНШ 115-T51.BRS производства ЗАО «МХ» соответствуют горно-геологическим условиям карьеров, не уступают по эксплуатационным характеристикам и превосходят по экономическим показателям аналоги импортного производства. С буровыми компаниями г. Ханоя заключены контракты на поставку данного бурового инструмента, стороны также договорились о дальнейшем сотрудничестве путем продвижения продукции производства ЗАО «МХ» на вьетнамские горнодобывающие предприятия.

**Украина.** Продукцию ЗАО «МХ» применяют многие горнодобывающие предприятия Украины: ОАО «КЖРК», ОАО «Суша Балка», ЗАО «ЗЖРК», ОАО «Арселор Миттал» и др. При этом она выдерживает конкуренцию как с иностранными, так и с отечественными машиностроительными компаниями. Сотрудничество с

горными предприятиями Украины является стратегическим направлением для ЗАО «МХ». С целью более плодотворного взаимодействия ЗАО «МХ» организовало дилерскую и сервисную службы на территории Украины: официальными дилерами по контролю за качеством и в вопросах реализации продукции являются ООО «ДИТЦ Контакт» и ООО «Машиностроительное объединение «Майнинг-Днепр» (г. Днепропетровск). Сервисная служба представлена сервисным инженером в г. Кривой Рог. При помощи дилерской и сервисной службы постоянно осуществляется мониторинг качества поставляемой продукции, а также проводятся опытные и промышленные испытания изделий.

Последние промышленные испытания проходили в условиях ЗАО «ЗЖРК» в период январь — май 2010 г. Испытаниям подверглись буровые коронки КНШ-105ПМС40 и КНШ-105ПМКЕ40 шпоночного соединения с пневмоударниками клапанного типа П-105ПМ, буровые коронки КНШ-105ВШС40 и КНШ-105БШКЕ40 шлицевого соединения с пневмоударниками бесклапанного типа П-105-2,8Ш производства ЗАО «МХ», в сравнении с буровыми коронками австрийского производства шпоночного соединения с пневмоударниками клапанного типа П-105ПМ другого отечественного производителя. Испытания проходили на шахте «Эксплуатационная» на рудах крепостью от 7 до 12 по шкале проф. М. М. Протодюкенова.

В ходе испытаний установлено: эффективность применения буровых коронок КНШ-105ПМС40 и КНШ-105ПМКЕ40 с пневмоударниками П-105ПМ производства ЗАО «МХ» по показателю «цена — качество» по сравнению с коронками других производителей выше на 5–16 %; она

увеличивается при бурении по более крепким породам и снижается при проходке слабых категорий пород;

буровые коронки КНШ-105ПМКЕ40 производства ЗАО «МХ» увеличивают скорость бурения более чем в 2 раза за счет применения полубаллистической формы твердого сплава;

применение пневмударников П-105ПМ производства ЗАО «МХ» способствует повышению надежности узла клапанной коробки; вместе с тем отмечен более интенсивный износ хвостовой части коронок и ударной части поршней, чем у серийно применяемого бурового инструмента; техническими специалистами ЗАО «ЗЖРК» даны исчерпывающие рекомендации по совершенствованию данной конструкции;

применение пневмударников бесклапанного типа П-105-2,8Ш с буровыми коронками КНШ-105БШС40 эффективней по показателю «цена — качество» по сравнению с применяющимся в настоящее время буровым инструментом на 23 %;

применение буровых коронок КНШ-105БШС40 и КНШ-105БШКЕ40 с пневмударниками бесклапанного типа П-105-2,8Ш производства ЗАО «МХ» способствует гораздо меньшему износу хвостовиков шлицевого соединения по сравнению с хвостовиками коронок шпоночного соединения; отмечено также легкое забуривание и устойчивая работа пневмударников П-105-2,8Ш и зафиксировано увеличение скорости бурения в 1,5–2 раза, а средняя эксплуатационная стойкость на 58 % превышает ресурс пневмударников П-105ПМ другого отечественного производителя;

применение пневмударников бесклапанного типа П-105-2,8Ш и шлицевых буровых коронок производства ЗАО «МХ» ввиду конструктивных особенностей снижает расход воды и воздуха, а также обеспечивает более высокую точность при бурении глубоких скважин;

увеличенная на 22 см длина пневмударников бесклапанного типа П-105-2,8Ш по сравнению с пневмударниками клапанного типа П-105ПМ может вызвать неудобства при забуривании в выработках малого сечения.

В ходе испытаний и на технических совещаниях стороны обменялись



Технический совет специалистов ЗАО «ЗЖРК» и ЗАО «МХ» с лева на право: О.И. Шипилов, менеджер ВЭС ЗАО «МХ»; М.С. Кириченко, директор ООО «МО «Майнинг-Диспр»; А. В. Усатый, начальник участка 6/13; Н. Ф. Денисенко, контрольный бурщик; В. М. Линский, зам. начальника тех. отдела; А. В. Постолов, зам. главного механика по ПТ; В. А. Новик, главный механик; А. П. Зубко, технический директор.

опытом и рекомендациями, направленными на повышение эксплуатационных качеств бурового оборудования и инструмента; комиссия из числа специалистов ЗАО «ЗЖРК» на основании полученных первичных положительных результатов испытаний, а также в целях получения более точных технико-экономических показателей приняла решение приобрести в объеме квартальной потребности буровой инструмент — пневмударники П-105-2,8Ш с буровыми коронками КНШ-105БШС40 производства ЗАО «МХ».

Россия. В июле 2010 г. в условиях Новосмолинского карьера (Челябинская обл.) закончились промышленные испытания пневмударников П-130-4,5РРБ с буровыми коронками КНШ-130БРС40 и КНШ-130БРКЕ40 (рис. 4) производства ЗАО «МХ». Основными конструктивными отличиями пневмударников П-130-4,5РРБ от своих предшественников являются: увеличенная до 4,5 кВт энергия удара; повышенная надежность соединения пневмударника с буровой коронкой; ре-



Рис. 4. Пневмударник П-130-4,5РРБ (а) после прохода 3530 м находится в рабочем состоянии; буровая коронка КНШ-130БРКЕ40 (б) после прохода 357 м без загонов по абразивным породам категорий твердости 15–18 по шкале М. М. Протодьяконова





Новосмолинский карьер: испытания пневмударников и буровых коронок ведет инженер по испытанию И. В. Шкляр

ристый корпус пневмударника, увеличивающий его ресурс и точность направления бурения скважин.

Гранодиориты Новосмолинского месторождения относятся к классу полнокристаллических интрузивных образований и представляют собой среднезернистую, массивную, трещиноватую породу крепостью 15–18 по шкале проф. М. М. Протоdjаконова, класс абразивности — 6, категория трещиноватости — 4.

Основные буровые работы осуществляются станками вращательного бурения СБШ-250 при помощи шарошечных долот номинального диаметра 244,5 и 215 мм. Вспомогательные буровые работы ведутся буровыми установками УРБ-2А2 с применением пневмударного бурового инструмента разных заводов-изготовителей, номинального диаметра 110 мм, пневмударниками П-110-2,8МР с буровыми коронками лезвийного типа К-110 или штыревого — КНШ-110. Бурение скважин номинальным диаметром 110 мм ведут по сетке 2,7х2,7 м. По согласованию с руководством карьера проведены сравнительные испытания бурового инструмента, применяемого на карьере (диаметр бурения — 110 мм), и экспериментального инструмента производства ЗАО «МХ», при этом сетка бурения при диаметре 130 мм составила 3х3 м. При разработке блока 27х27 м с глубиной бурения 7,3 м применяемым буровым инструментом (диаметр 110 мм) при сетке бурения 2,7х2,7 м необходимо пробурить 121 скважину; отметим, что среднее время бурения одной скважины в этом случае составляет 45 мин. При бурении данного блока, но диаметром бурения 130 мм и с сеткой бурения 3х3 м достаточно пробурить 100 скважин при среднем времени бурения одной скважины пневмударниками П-130-4,5РРБ с буровыми коронками КНШ-130БПС40 и КНШ-130БРКЕ40 — 39 мин. Таким образом, один и тот же объем горной массы можно приготовить к выемке в 1,39 раза быстрее, а удельная стоимость бурового инструмента, необходимого для обуривания 1 м<sup>3</sup> горной массы снижается на 48 %. При этом средняя наработка пневмударников П-130-4,5РРБ в 1,3 раза больше, чем у применяемых пневмударников диаметром 110 мм, а

ресурс буровых коронок КНШ-130БРКЕ40 и КНШ-130БПС40 в 3–3,5 раза превышает серийно применяемые коронки диаметром 110 мм. По данным ПТО Новосмолинского карьера, в результате увеличения диаметра взрывных скважин с 110 до 130 мм улучшаются качественные характеристики и по дроблению горной массы, снижается выход негабарита, а также отсутствует излишнее переизмельчение. В то же время удельный расход ВВ остался неизменным и соответствует проектному (0,96 кг/м<sup>3</sup>).

Комиссия в составе специалистов Новосмолинского карьера высоко оценила результаты промышленных испытаний и посчитала целесообразным полностью перейти на бурение вспомогательных скважин диаметром 130 мм буровым инструментом производства ЗАО «МХ».

В ноябре 2009 г. в тоннельном отряде № 12 («Бамтоннельстрой») введены в эксплуатацию два буровых станка БП-100. В июне 2010 г. получены первые отзывы об их работе: технические специалисты тоннельного отряда отмечают, что за время эксплуатации станки БП-100 проявили себя как производительные, надежные, безопасные и экономически эффективное буровое оборудование; производительность станков выше на 30 %, они значительно ремонтпригодней по сравнению с применяемыми ранее станками НКР-100. В 2010 г. «Бамтоннельстрой» намерен приобрести еще два буровых станка модификации БП-100Н. Основными преимуществами бурового станка БП-100Н являются уменьшение массы до 560 кг и габаритных размеров; снижение потребления сжатого воздуха с 20 до 13 м<sup>3</sup>/мин; значительное увеличение максимального усилия подачи — до 2200 кгс (22 кН) и номинального крутящегося момента — до 120 (кгс)/м (1,2 кН/м).

Горнодобывающие предприятия имеют собственный опыт эксплуатации горного оборудования, учитывающий применяемую систему разработки и горно-геологические особенности месторождения. Специалистам ЗАО «МХ» интересен опыт эксплуатации, рекомендации по модернизации и совершенствованию горной техники, бурового оборудования, бурового инструмента, накопленные в каждом отдельном горном предприятии, а также мнение специалистов горных предприятий о перспективах развития отечественного горного машиностроения и особенно рекомендации по изготовлению новых видов горного оборудования как для карьеров, так и для подземных рудников. В зависимости от конкретных предложений горняков инженеры и конструкторы ЗАО «МХ» готовы к сотрудничеству на коммерческой основе. Наиболее интересные проекты будут направлены для опубликования в ведущие технические журналы. Просим направлять предложения в письменном виде, уверяем, что каждое обращение будет внимательно изучено специалистами ЗАО «МХ» и ни одно не останется без ответа.

**ЗАО «МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ХОЛДИНГ»**

620024, Россия, Екатеринбург,

Сисская ул., 1, офис 401.

Тел.: (343) 294-77-77, 295-85-80;

Тел./факс: (343) 294-70-70

www.mash-hold.ru

e-mail: mashhold@mail.ru



Низкий уровень шума без загрязнения воздуха



Патентованный кабельный барабан Sandvik



Отсутствие выхлопных газов и защита окружающей среды

## Электрические погрузочно-доставочные машины Sandvik

### Эффективность in Action

Компания Sandvik предлагает широкий ассортимент электрических погрузочно-доставочных машин и поставляет на мировой рынок наибольшее количество электрических погрузочно-доставочных машин большого класса. Не имеющие аналогов решения компании Sandvik для электрических погрузочно-доставочных машин сокращают затраты на вентиляцию выработок и обеспечивают защиту окружающей среды. Эффективные, надежные электрические моторы обеспечивают большую мощность для наполнения ковша, по сравнению с дизельными погрузочно-доставочными машинами.

Патентованный кабельный барабан Sandvik обеспечивает высокую скорость операций. Электрические погрузочно-доставочные машины Sandvik обеспечивают низкую удельную себестоимость разработки и защиту окружающей среды.

**SANDVIK**



## ПНЕВМОУДАРНИК ПОГРУЖНОЙ П105-2,6 НОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ

ОАО Кыштымское машиностроительное объединение («КМО») является крупнейшим в России производителем и поставщиком горно-шахтного оборудования и инструмента. Предприятие постоянно проводит научно-технические изыскания по совершенствованию выпускаемой продукции, сотрудничает не только с горнодобывающими предприятиями, но и с ведущими горными институтами. Одно из таких учреждений — Институт горного дела СО РАН (г. Новосибирск) ОАО «КМО» и ИГД СО РАН сотрудничают на протяжении многих лет. Ведется совместная работа по повышению стойкости бурового инструмента. В 2009 г. специалисты ОАО «КМО» разработали конструктивную схему погружного пневмоударника,



Пневмоударник погружной П105-2,6

эффективность бурения и снижают затраты на эксплуатацию инструмента. Пневмоударник погружной П105-2,6 отличается высоким качеством, длительным сроком службы, простотой и удобством в эксплуатации (см. таблицу).

В ходе испытаний было подтверждено, что пневмоударник П105-2,6 обладает следующими техническими преимуществами:

- эксплуатационная стойкость по сравнению с предыдущей версией пневмоударника П-105ПМК увеличилась в 3,3 раза и составляет 1005 м;
- производительность на 20% выше, чем у аналогов — пневмоударника М48 и П-105ПМ.

Это существенно увеличивает затраты на эксплуатацию инструмента. Пневмоударник погружной П105-2,6 отличается высоким качеством, длительным сроком службы, простотой и удобством в эксплуатации (см. таблицу).

Техническая характеристика пневмоударников различного типа

Параметр	П105-2,6	П-105ПМК	М48-01А	П-105ПМ	П-105СО
Номинальный диаметр скважины, мм	105	105	105	105	105
Номинальное давление сжатого воздуха, МПа	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ударная мощность, кВт, не менее	2,8	2,8	2,7	2,6	2,5
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин, не более	5,8	5,2	5,0	5,2	
Масса, кг	23,6	16,1	16,8	18,5	
Система воздухораспределения	Безклапанная	Клапанная	Клапанная	Клапанная	Безклапанная
Соединение с буровой коронкой	Шлице-шпоночное, байонетное	Гладко-шпоночное	Гладко-шпоночное	Гладко-шпоночное	Байонетное
Система продувки	Центральная	Боковая	Боковая	Боковая	Центральная
Эксплуатационная стойкость по породам крепостью f=10-12 (без применения запасных частей), м	1005	300	200	250	Редко применяется

имеющую существенные отличия от предшественников. Техническая служба ОАО «КМО» на базе этой схемы разработала пневмоударник П105-2,6 совершенного нового технического уровня. В начале 2010 г. была выпущена промышленная партия данных пневмоударников

Пневмоударник погружной П105-2,6 (см. рисунок) с коронками КНШ-105ШВ предназначен для бурения взрывных и разведывательных скважин диаметром 105 мм на открытых и подземных горных работах в породах средней и высокой крепости, в том числе абразивных, разрушенных и трещиноватых.

В марте — апреле 2010 г. специалистами ОАО «КМО» были проведены промышленные испытания пневмоударника П105-2,6 в условиях шахты «Южная» ОАО «Высокогорский ГОК» (крепость буримых пород 10–12 по шкале проф. М. М. Протодяконова).

На данном этапе ОАО «КМО» успешно проводит промышленные испытания опытных партий в различных условиях и ведет подготовку производства для серийного выпуска пневмоударника П105-2,6. В планах предприятия — серийный выпуск нового пневмоударника, не имеющего аналогов по ресурсу и производительности, и последующее замещение им пневмоударников М48-01А и П-105ПМ, выпускаемых сегодня в России.

ОАО «КМО» всегда открыто для сотрудничества, ждем ваших пожеланий и рекомендаций.

Глазков Валерий Викторович,  
 главный конструктор  
 Кочетов Владимир Александрович,  
 технический директор



# Металлургический форум фирмы Siemens в Германии, май 2010 г.

Ежегодный медиа-саммит фирмы Siemens, посвященный перспективам развития горно-металлургической промышленности, стал уже хорошей традицией, при этом он каждый раз проходит в разных местах. В этом году он прошел уже в четвертый раз, а местом проведения был выбран немецкий Эссен (предыдущие три саммита прошли в 2007–2009 гг. в австрийском Линце, польском Кракове и Москве).

Форум открылся 11 мая докладом ««Зеленые» решения для устойчивого бизнеса», который сделал Йенс Вегман, директор департамента IS (Industrial Solutions — Решения для промышленности) фирмы Siemens.

«Увеличивающиеся цены на энергоносители, жесткие законодательные требования и улучшающаяся сознательность относительно экологической ответственности ведут к усилению защиты окружающей среды и энергетической эффективности», — заявил, в частности, Й. Вегман в своем выступлении. — Экологичность и экономичность не противоречат друг другу. Разработанная департаментом IS вместе с рядом университетов матрица Eco-Care позволяет оценивать экологичность и экономичность изделий в рамках целых промышленных линий. Благодаря этому можно целенаправленно учитывать экологичность, затраты и возможности охраны окружающей среды и для новых видов продукции. Значение разработки «зеленых» продуктов и технических решений увеличилось ввиду климатических изменений и все более острой нехватки ресурсов. Матрица Eco-Care помогает нам развивать инновации сравнимых масштабов. Благодаря этому отдельные продукты, системы и целые установки могут оцениваться и усовершенствоваться таким образом, чтобы наряду с экономическими целями в отношении экономии финансовых и энергетических ресурсов достигалось и выполнение важных законодательных требований в сфере экологии».



Йенс Вегман

При этом на одной стороне представляются капитальные и эксплуатационные затраты, а на другой — воздействие на окружающую среду.

«Благодаря этому мы предлагаем экологически чистые и эффективные с экономической точки зрения решения для наших клиентов и помогаем им оставаться конкурентоспособными и в дальнейшем», — подчеркнул Й. Вегман.

В качестве примера Й. Вегман, среди прочего, назвал технологию Corex/Finex от Siemens VAI, которая была идентифицирована как «зеленое решение» с использованием матрицы Eco-Care. В отличие от обычной технологии, при которой для получения доменного чугуна из руды требуется кокс и рудный агломерат, для технологии Corex/Finex не нужны ни коксовые батареи, ни аглофабрика.

При этом уменьшаются не только выбросы углекислого газа, но и расход ресурсов, но и уровень инвестиций. Вкладывая меньшие расходы становятся ниже по сравнению с классической технологией.

Следующий доклад о программных средствах как «становом хребте» конкурентоспособности и устойчивого роста в производстве промышленного оборудования сделал Гюнтер Винтер, руководитель подразделения по технологиям и инновациям в Siemens VAI.



Гюнтер Винтер

Для укрепления конкурентоспособности и стимулирования устойчивого роста Siemens VAI ориентируется на повышение производительности и внедрение инноваций в самых разных сегментах. «Для этого Siemens использует собственные программные средства на базе интеллектуальной производственной модели», — отметил Г. Винтер. За счет этого существенно сокращается время вывода новых разработок на рынок и повышается надежность реализации глобальных проектов с участием инженеров, поставщиков и клиентов из разных стран.

В то же время при использовании программных средств достигается централизация всех данных, которая защищает объем знаний и технологий Siemens в глобальном взаимодействии в сфере инжиниринга и производства. «Мы предоставляем субпоставщикам лишь необходимые данные по производству компонентов, а полные схемы оборудования и технологические знания остаются в компании», — отметил Г. Винтер.

С помощью собственных программных продуктов и решений компания Siemens может и далее сокращать циклы разработки новых систем и компонентов и реализовывать конкретные требования заказчиков в относительно короткие сроки. Для решения этой задачи компания Siemens располагает собственными программными разработками, например, программами планирования экономики и организации производства на базе



Матрица Eco-Care

SAP Средства обслуживания требуемого срока эксплуатации поставляемого продукта, такие, как Teamcenter и Solid, служат не только для обслуживания и дальнейшего совершенствования центральных производственных моделей, но и помогают облегчать обслуживание заказчика в течение всего срока эксплуатации этого оборудования, являясь важной предпосылкой для успешного сервиса.

Программные средства необходимы сегодня, как никогда, для воплощения хороших идей в конкретных продуктах. Они повышают скорость выхода на рынок, оптимизируют процессы и использование ресурсов, обеспечивают качество и снижают затраты. Эти элементы также снижают риски в международном взаимодействии инженеров-разработчиков и производителей, которые стоят перед задачей защитить свои знания и инновации и не допустить несанкционированной передачи конструктивных разработок третьим сторонам.

В то же время новые разработки или изменения в технологических процессах могут быть в любой момент с максимальной оперативностью интегрированы в существующие системы в любой точке мира, что создает очевидные конкурентные преимущества для заказчиков.

«Приоритетными направлениями роста для портфеля заказов компании Siemens VAI являются в настоящее время Китай и Индия, — заявил в своем докладе глава Siemens VAI Вернер Ауэр. — После экономического кризиса конкуренция в производстве комплектного промышленного оборудования значительно усилилась. Все чаще китайские и индийские фирмы выводят на рынок собственное оборудование. Высокоразвитые в технологическом отношении страны Европы, США и Япония по-прежнему делают ставку на эффективность и гибкость своей продукции, а Китай и Индия желают изготавливать прежде всего сталь для своей инфраструктуры на более простом и дешевом оборудовании. На такое оборудование уже сегодня приходится четверть объема мирового рынка в размере около 21 млрд евро.

В настоящее время Китай и Индия производят больше половины потребляемой в мире стали. В Европе, США и Японии спрос на новое сталелитейное оборудование продолжает снижаться, «а в Азии мы ожидаем прироста больше чем на 7 % ежегодно», — заявил Тим Давидовски, ранее отвечавший за бизнес Siemens в Китае в сфере горной и металлургической промышленности.

На традиционных рынках стали на принятие решений о приобретении комплектного промышленного оборудования влияют такие факторы, как эксплуатационные расходы и особые требования к качеству продукции, безопасности и защите окружающей среды, «а на новых рынках мы должны выполнять прежде всего местные требования», — говорит Т. Давидовски. Это требует присутствия рядом клиентами «только в том случае, если нас будут воспринимать как местного предприятия, мы добьемся успеха». Siemens и в дальнейшем будет принимать участие в этой конкурентной борьбе и предлагать новые технологии и решения в сфере оборудования, которые сейчас являются конкурентоспособными в Китае, Индии и других странах с высоким уровнем спроса на сталь, которые не утратят свои отличительные черты в будущем.

Для этого Siemens VAI в течение следующих двух-трех лет планирует инвестиции в сумме нескольких десятков миллионов евро в Китае и Индии, чтобы создать свои местные структуры по производству, инжинирингу и сопровождению проектов.

Одновременно на эти страны будет возложена ответственность за разработку проектирование и конструирование оборудования, а также за производство, сопровождение проектов, ввод в эксплуатацию и послепродажное обслуживание для 11 компонентов металлургического оборудования.

«При этом в Индии мы будем концентрироваться на избранных технологиях по производству неаффинированной стали, а Китай будет отвечать за новые обработки в сфере проката», — отмечает Ауэр. Обе страны будут самостоятельно предлагать по всему миру свои продукты и технические решения, соответствующие новым и специфическим рыночным требованиям.

Пути решения экологических вопросов и социальных проблем в горнопромышленных районах были освещены в выступлении Бернда Центнтауэра, старшего вице-президента подразделения «Технологии горных работ» фирмы Siemens VAI.

В будущем горные предприятия должны будут инвестировать намного больше средств для сохранения окружающей среды и соблюдения техники безопасности, что позволит на продолжительное время обеспечить их перспективность и доходность.

«Эффективность использования энергии и технологии очистки воды помогают обеспечивать конкурентную способность. При помощи специальных электроприводов для большегрузных автомобилей и ковшевых экскаваторов, подъемно-транспортного оборудования и мельниц для измельчения руды мы снижаем расход энергии, что облегчает энергоснабжение многих районов добычи, в которых уже на сегодняшний день энергия стала крайне дефицитной», — заявил Б. Центнтауэр.

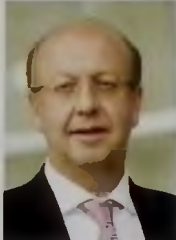
«Посредством расширения числа разработанных технологий для очистки сточных вод фирма Siemens, например, помогает снять остроту проблемы дефицита воды. С помощью производственно-исполнительных систем (Manufacturing-Execution-System — MES), которые анализируют эксплуатационные параметры вдоль производственных линий, мы создаем условия для прозрачности результатов и помогаем менеджменту выносить решения относительно эффективного и экологического благоприятного управления производством».

Фирма Siemens разработала системы приводов переменного тока для карьерных самосвалов, у которых дизельный агрегат эксплуатируется в оптимальном диапазоне частоты вращения. Такие дизельно-электрические системы приводов уменьшают не только загрязнение окружающей среды, но и позволяют экономить горючее и снижать производственные затраты.

Применение безредукторных систем приводов (Gearless Drives — GD) тоже помогает уменьшить расход энергии. За



Тим Давидовски



Вернер Ауэр



Бернд Центнтауэр

прошедшие 30 лет фирма Siemens непрерывно совершенствовала свои системы GD для дробильных установок, многокочевых цепных экскаваторов и скребковых цепных конвейеров. Дополнительный потенциал Б. Центбауэр видит в соединении ленточно-конвейерной техники и технологии GD.

Меры по снижению расхода энергии должны выходить за рамки отдельных технических решений и являться составной частью комплексного энергетического менеджмента с учетом параметров приводной техники и средств автоматизации.

Наряду с энергетическими проблемами во многих странах расширению горнодобывающего производства мешает дефицит воды. Технические решения фирмы Siemens для очистки воды (например, мембранные системы) помогают лучше использовать воду и одновременно не наносить вред экологии.

Еще один доклад, посвященный возможностям сталеплавильного производства на заводе в Крефельде, сделал представитель концерна ThyssenKrupp Nirosta GmbH Йорг Байндорф. Было отмечено высокое качество стали и усиление безопасности производства благодаря модернизации установки непрерывной разливки и двух конвертеров AOD, выполненной фирмой Siemens VA.

ThyssenKrupp Nirosta GmbH входит в ThyssenKrupp Stainless AG и вместе с аффилированными предприятиями ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni (Италия), ThyssenKrupp Mexinox (Мексика) и Shanghai Krupp Stainless (Китай) является одним из ведущих мировых производителей изделий из коррозионностойкой листовой стали широкого ассортимента.

В ходе модернизации установки в Крефельде компания Siemens Metals Technologies в 2009 г. заменила два стационарных AOD-конвертера на два сменных конвертера. На новых AOD-конвертерах в Крефельде получают аустенитные хромоникелевые стали высокого качества, используемые во многих отраслях промышленности в виде изделий из листовой стали.

Для соблюдения требований новых конвертеров фирма Siemens также модифицировала центральный пульт управления и базовую автоматизацию. Электрооборудование было заменено или модернизировано. Кроме того, была внедрена новая система сквозной автоматизации на основе технического решения для всей установки непрерывной разливки — от поворотного стэнда для ковшей до отводящего рольганга. Управление и наблюдение производится посредством системы визуализации WinCC. Контрольно-измерительные приборы установки теперь в основном доступны через Profibus

РБ. Благодаря этому число аварийных остановок существенно сократилось с 6000 до 3200.

Успешный метод саммита позволяет возможность побывать на выставке в Крефельде утром 12 мая в общепринятый главный увидят результаты этой модернизации.

А в первый день, только приехав в Дюссель, 10 мая была организована предварительная поездка на буроголовый разрез «Гарцвайлер», который эксплуатирует один из крупнейших производителей электроэнергии в Германии — фирма RWE Power AG. Этот разрез расположен в регионе между тремя горными (Вальном, Ахеном и Менкенладском) и благодаря своей высокой степени автоматизации входит в число самых рентабельных открытые карьеры в Европе. Мониторинг и контроль всех процессов на карьере ведутся с помощью системы управления производственными процессами Simatic PCS 7, изготовленной фирмой Siemens.

Разрез «Гарцвайлер» находится в Рейнском буроголовом бассейне в земле Северный Рейн-Вестфалия бурый уголь в трех пластах, общая средняя толщина которых составляет 40 м. Уголь залегает на глубине от 40 до 160 м. В начале 2006 г. карьер был продолжен в западном направлении до соседнего угольного участка площадью 48 км<sup>2</sup> «Гарцвайлер II». Там на максимальной глубине 210 м залегают 1,3 млрд т бурого угля.

Для транспортирования угля и вскрышки фирма Siemens в 2006 г. смонтировала 25 откаточных путей с 60 транспортерами общей длиной около 85 км. Кроме того, фирма поставила электротехническое оборудование для новых приводных станций ленточных транспортеров и модернизировала имеющиеся сооружения.

На отдельных террасообразных горизонтах буроголовый разреза используются колесно-лопастные экскаваторы массой около 13 тыс. т, длиной до 240 и высотой почти 100 м. Их экипаж состоит из 4–5 чел. в смену. Производительность самого большого колесно-лопастного экскаватора в «Гарцвайлер II» составляет до 240 тыс. м<sup>3</sup> породы в сутки. В 2007 г. фирма Siemens оснастила колесно-лопастные экскаваторы детектором металлических предметов и камней. Система, разработанная совместно с компанией RWE, смонтирована в приемной зоне, позади лопастного колеса.

До 2045 г. компания RWE Power AG планирует добывать здесь ежегодно по 35–40 млн т бурого угля. Таким образом, карьер «Гарцвайлер II» и работающие с ним в связке электростанции обеспечат около 20 % электро-







снабжения всей земли Северный Рейн-Вестфалия, или 6 % потребности в электроэнергии в масштабах всей Германии.

Кстати, фирма RWE Power AG основала в 1976 г. в близлежащем замке Паффендорф Информационный центр по различным проблемам добычи бурого угля, его транспортирования и энергетического передела. Первоначально замок был построен между 1533 и 1546 гг., а в середине XIX в. перестроен в неоготическом стиле. Рядом расположен парк площадью 7,5 га с богатым ботаническим садом. Через этот замок, вместе с карьером и диспетчерским пунктом, проходит специальный экскурсионный «Энергетический маршрут», по которому любители познакомиться со всеми этапами выработки энергии и убедиться в экологически безопасном характере этих процессов могут проехать на своих автомобилях или велосипедах. Кроме того, в замке регулярно проходят музыкальные концерты и выставки.

Рассказывая об уютном музейном замке Паффендорф, нельзя не упомянуть и о месте проведения собственно заседаний медиа-саммита в Эссене. Они проходят в здании бывших механических мастерских музейного комплекса Zollverein, являющегося одним из крупнейших европейских памятников технического наследия и включенного в соответствующий список ЮНЕСКО.

Zollverein — это бывшая промышленная площадка, объединявшая угольную шахту № 13, еще одну шахту № 1/2/8 и коксовый завод. Добыча угля велась здесь с 1851 г. по 1986 г. Шахта № 12, в которой сейчас располагается Рурский музей, была открыта в 1932 г. и считалась одной из лучших в мире на тот период. Перед Второй мировой войной здесь добывали 3,6 млн т угля в год.

В период военных действий 1939–1945 гг. шахта Zollverein в основном уцелела, впоследствии несколько

раз меняла своих владельцев, была неоднократно модернизирована, но в 1980-х годах пришло время закрытия всех шахт в городской черте Эссена главным образом из экологических соображений. Коксовый завод планировалось продать в Китай. Но неожиданно для многих этот комплекс был куплен правительством земли Северный Рейн-Вестфалия, которое провело в течение нескольких лет необходимую реконструкцию и сохранило таким образом этот замечательный памятник горно-металлургической промышленности.

Насыщенная четырехдневная рабочая программа медиа-саммита позволила журналистам из многих стран (включая Россию, Китай, Индию, Вьетнам, США, Великобританию, Бразилию и др.) узнать «из первых рук» о приоритетах современной технической политики фирмы Siemens в области горного дела и металлургии, познакомиться с крупными предприятиями по добыче бурого угля и производству коррозионностойкой стали, на которых фирма Siemens провела недавно серьезную модернизацию, а также получить удовольствие от посещений интересных культурных объектов. Огромную организационную работу по подготовке и проведению этой поездки выполнило московское представительство ООО «Сименс» в лице руководителя группы маркетинга и инфраструктуры Оксаны Громовой и специалиста по маркетингу Инги Дворянчиковой, за что делегация Издательского дома «Руда и Металлы» на медиа-саммите 2010 г. выражает им искреннюю благодарность.

А. Г. Воробьев (шеф-редактор)

Е. В. Цирульников

(зам. генерального директора)

С. А. Воробьев (генеральный директор)



Электронные версии публикаций Издательского дома «Руда и Металлы» по медиа-саммитам Siemens IAG и IAG2010 — [www.siemens-rudmet.ru](http://www.siemens-rudmet.ru)

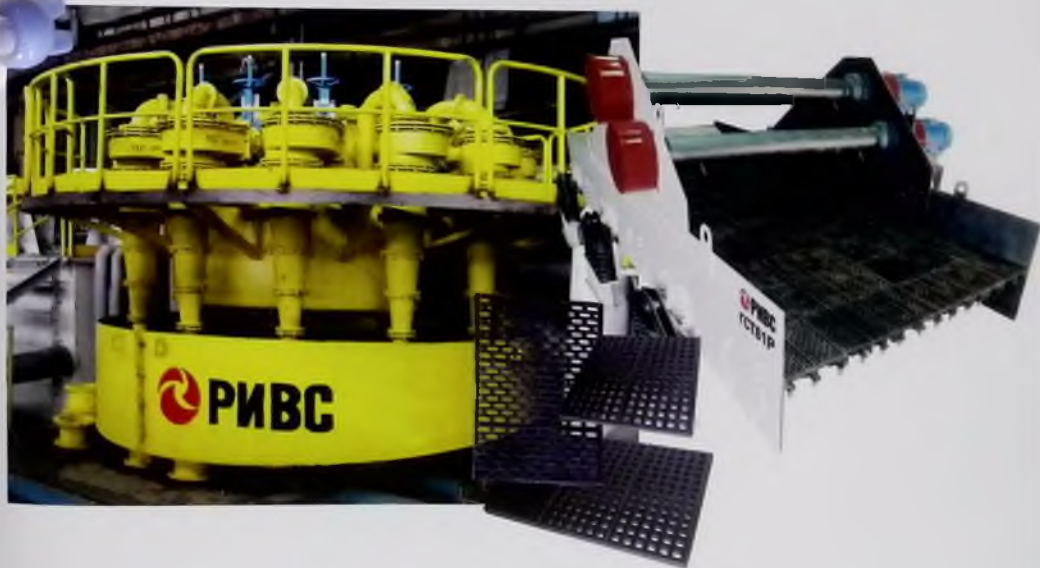
[info@rudmet.ru](mailto:info@rudmet.ru)

Научно-производственное объединение «РИВС» разрабатывает и выпускает:

- Гидроциклоны с звольвентным вводом питания: резиновые — ГЦР 250, 300 и комбинированные — ГЦК 250, 300, 350. На их основе разработаны автоматизированные батарейные установки на различную производительность по питанию.
- Грохоты типа ГРИ (ГИТ): от 2-го до 8-го типоразмеров и типа ГРС (ГСТ): от 3-го до 8-го типоразмеров. Новые подходы к конструированию позволяют создавать грохоты больших типоразмеров с просеивающей поверхностью площадью 24 м<sup>2</sup> и выше. Грохоты оснащаются резиновыми ситами с прямоугольными и квадратными ячейками для различных условий работы.
- Аэрационные узлы для модернизации флотомашин типа ФПМ и ОК с камерами объемом от 1,5 до 130 м<sup>3</sup>.



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

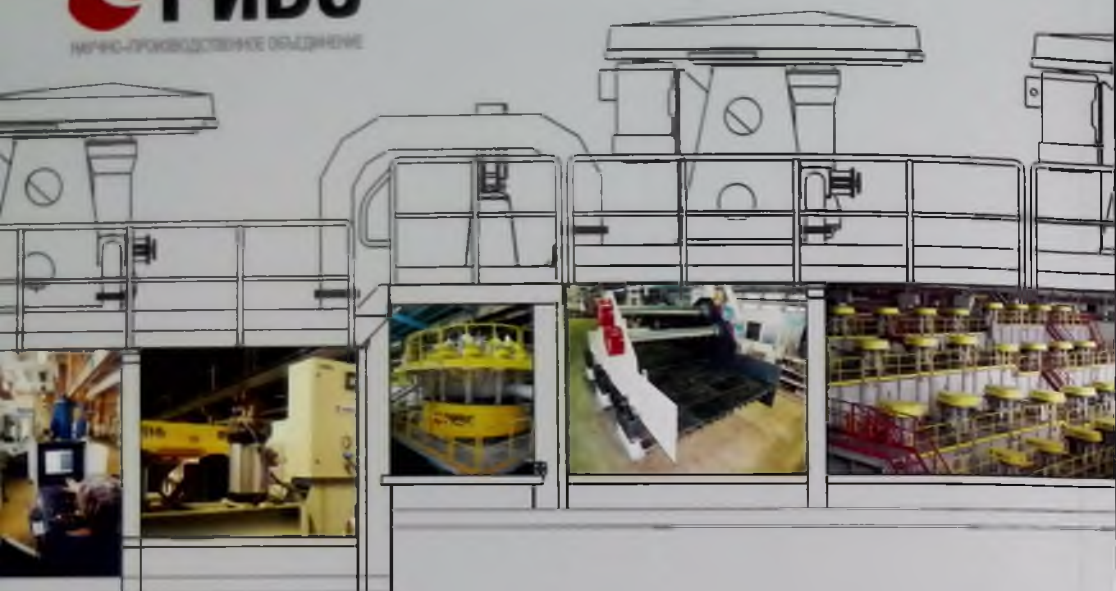


• Амортизаторы грохотов; футеровки спиральных классификаторов, гидроциклонов, шаровых мельниц; аэрационные узлы для механических флотомашин; колена ненапорных пульпопроводов; муфты резиновые; армированные футеровки рабочих камер флотомашин и контактных чанов; резиновые пробки для систем регулирования уровня пуль-

пы во флотомашинах; резиновые пробки для зумпфов, чанов и распределительных коробок.

Уникальные рецепты резиновых смесей с учетом особенностей эксплуатации продукции на предприятиях обеспечивают высокую износостойкость и долговечность изделий.

Объединение занимается разработкой и внедрением систем автоматического контроля и регулирования параметров оборудования и систем управления технологическими процессами обогащения руд полезных ископаемых (АСУТП)



**КОМПАНИЯ ОСУЩЕСТВЛЯЕТ:**

Проектирование и строительство новых предприятий.

Реконструкцию существующих предприятий.

Исследование, разработку и внедрение новых технологий обогащения полезных ископаемых.

Разработку технологических регламентов, внедрение новых технологий с достижением гарантированных технологических показателей на действующих предприятиях.

Аудит обоганительного производства.

Разработку и изготовление новых машин и механизмов.

Модернизацию горно-обогатительного оборудования.

Разработку АСУ ТП обогатительных фабрик.

Комплексную автоматизацию технологических процессов и переделов обогащения сырья.

Сервисное обслуживание и обеспечение запчастями.

**НПО «РИВС» поставляет:**



Дробильно-измельчительное оборудование.

Флотомшины для рудных и нерудных материалов всех типов.

Чаны для различных операций обогащения и химических процессов.



Грохоты для сухой и мокрой классификации.

Гидроциклоны и гидроциклонные батареи.



Насосы песковые центробежные.

Зумпфы и емкости специального назначения.

Средства автоматизации горно-обогатительного оборудования.

Реагентные питатели различных типов.



Запчасти к горно-обогатительному оборудованию.

Резинотехнические изделия к горно-обогатительному оборудованию.