

УДК 622.7:001.895

# ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕКОНСТРУКЦИИ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК, ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫЕ РУДЫ

**А. В. ЗИМИН**<sup>1</sup>, генеральный директор, канд. техн. наук  
**Ю. П. НАЗАРОВ**<sup>1</sup>, директор департамента технологических исследований,  
 канд. техн. наук, Y\_Nazarov@rivs.ru  
**А. М. АРУСТАМЯН**<sup>2</sup>, главный инженер проекта

<sup>1</sup> СП ЗАО «ИВС», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ЗАО «РИВС-Проект», Санкт-Петербург, Россия

## Введение

Усложнение горно-геологических условий месторождений, вовлекаемых в эксплуатацию, перманентное ухудшение качества исходного сырья усугубляется для медно-молибденовых руд высокой волатильностью цен на базовые металлы, что предопределяет высокую долю рисков для предприятий, добывающих руды этого типа [1–10].

С начала 1990-х годов НПО «РИВС» активно включилось в перевооружение рудоподготовительных и флотационных переделов обогатительных фабрик, перерабатывающих медно-порфиновые руды [11, 12]. Следует отметить, что в этот же период времени практически все обогатительные объекты, запущенные в 1970–1980 гг., столкнулись с необходимостью модернизации существующего флотопарка, выработавшего свой механический ресурс и укомплектованного, как правило, морально устаревшим оборудованием.

Можно выделить ряд негативных факторов, повлекших масштабную модернизацию горно-обогатительного производства. Все они подразделяются на несколько групп: по перерабатываемой горной массе (снижение абсолютных содержаний металлов в руде, неблагоприятное изменение соотношений компонентов фазового состава, повышение содержания вредных примесей, уменьшение вкрапленности извлекаемых минералов); по масштабам переработки и схемным решениям (малопроизводительные секции с локальными схемами, существенно отличающимися от канонической Cleaner-scavenger); по комплектации и состоянию оборудования (мало- и разнообъемное оборудование с устаревшими конструктивными решениями, в том числе по рабочим органам); по управленческим параметрам (необходимость модернизации в формате «non stop», потребность в увеличении объемов переработки по реконструируемым секциям, необходимость улучшения технологических показателей).

Совершенно очевидно, что столь разнообразные, часто взаимоисключающие условия не позволяют осуществлять ранее практикуемые, так называемые точечные решения (как, например, замена собирателя или какого-либо реагента), а требуют разработки новых прорывных технологий обогащения, способных улучшить

*Рассмотрены пути совершенствования техники и технологии переработки медно-молибденовых руд на примере обогатительных фабрик КОО «Эрдэнэт» и Зангезурского ММК. Показана возможность улучшения технологических показателей в условиях постоянного снижения качества поступающей на фабрику руды. Основу инновационных подходов составляют параллельная, без остановки предприятия, реконструкция ведущих цехов фабрики с полной заменой основного оборудования, оптимизация технологических схем и реагентных режимов.*

**Ключевые слова:** медно-молибденовые руды, реконструкция фабрик, обновление флотопарка, технологические схемы, реагентные режимы.

**DOI:** dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.19

технологические показатели в условиях поступления на переработку более бедных и труднообогатимых руд.

Инновационные подходы, реализуемые НПО «РИВС» при реконструкции обогатительных фабрик, рассмотрены ниже на примере двух крупных предприятий цветной металлургии — КОО «Эрдэнэт» (Монголия) и Зангезурского ММК (Армения).

## КОО «Эрдэнэт»

**Технологические решения.** Обогатительная фабрика, входящая в состав этого предприятия, перерабатывает медно-порфиновые руды месторождения Эрдэнэтийн-Овоо, по традиционной для руд этого типа коллективно-селективной схеме. Схема предусматривала использование в качестве собирателей смесевых реагентов ксантогенового ряда (ВК 901) и аполярного типа (дизтопливо). Подобная рецептура распространена на аналогичных рудах, но по мере заглупления карьера вступает в противоречие с изменившимся соотношением извлекаемых минералов и доли первичных и вторичных минералов в рудной массе. Неоднократно проводимый анализ технологических продуктов обогатительной фабрики (ОФ) показывал, что в питании флотации 95 % составляют нерудные минералы, остальное — сульфиды, в которых основным проблемным минералом (3,1 %) является пирит (в сростках 10 % (отн.), в свободном виде — 90 % (отн.)), для молибденита эти цифры равны 5 и 95 % (отн.) соответственно. Общие коллективные хвосты на 97 % представлены нерудными минералами, порядка 90 % которых находится в свободном состоянии; из сульфидов преобладает пирит (~2,5 %), представленный самостоятельными выделениями на 85 %; содержание халькопирита в продукте составляет ~0,1 %, из них в свободном виде — около 40 %; практически весь молибденит присутствует в раскрытом виде. По распределению минеральной массы в сростках и свобод-

ном виде предварительно можно было считать, что основной резерв по извлечению меди и молибдена кроется в реагентном режиме. В процессе полномасштабных лабораторных исследований по модернизации технологической схемы и оптимизации реагентного режима применительно к особенностям руды текущей и перспективной добычи с использованием собирателей нового поколения фирмы Cytec Ind., непосредственно в условиях исследовательской лаборатории и на технической воде КОО «Эрдэнэт» была показана возможность практически двойного прироста извлечения молибдена в коллективном цикле без снижения извлечения меди [12]. По итогам промышленных испытаний на отдельных секциях ОФ и последующего внедрения разработанной технологии установлено, что предлагаемая технология, включающая применение в качестве основного реагента — модифицированного тиокарбамата, весьма надежна при переработке обедненных руд с нижних горизонтов рудного тела.

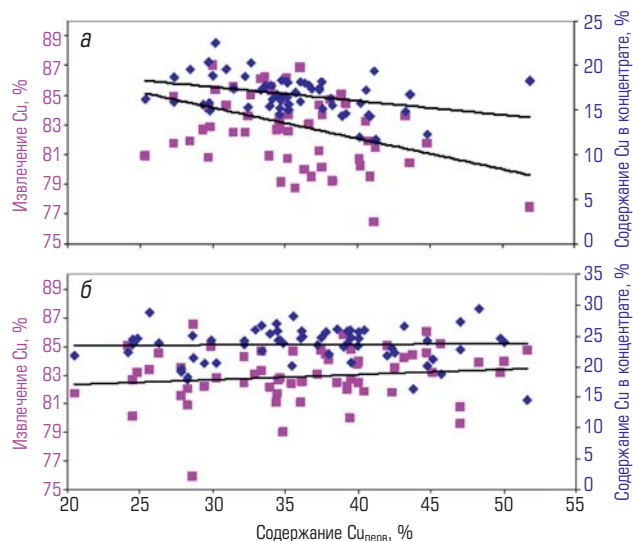
На **рис. 1** приведены зависимости содержаний в руде первичных минералов меди и извлечения меди в коллективный концентрат по-фабричному (ранее реализованному) и разработанному режимам.

Очевидно, что разработанная технология, включающая практически полное обновление реагентной рецептуры, позволила получить технологически значительно более устойчивый процесс, позволяющий получить значимо более высокие показатели при обработке более глубоких горизонтов месторождения.

Поскольку рекомендуемая технология выполняла комплексные задачи, в том числе и по формированию привлекательных товарных характеристик, удалось получить благоприятное соотношение шлакообразующих компонентов  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$  в медном концентрате. Соотношение  $Cu:Al_2O_3:SiO_2$  в товарном концентрате позволяет сократить или полностью исключить в металлургическом переделе необходимость дополнительного приобретения кремнезема (**рис. 2**).

Рекомендуемая технология позволила увеличить извлечение молибдена в товарный концентрат до 15 % (абс.) по сравнению со штатным режимом и сформировать схему переработки руд с повышенной первичностью.

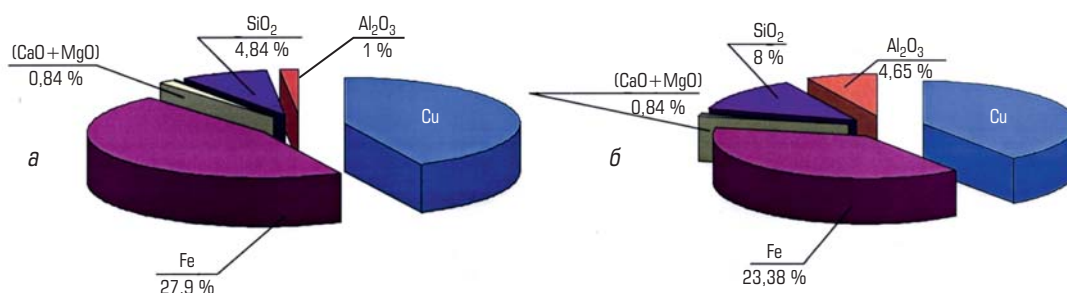
**Схемные решения.** Одной из этапных составляющих исследовательских работ является конфигурирование технологических схем с последующим обоснованием цепи аппаратов. Для действующих производств задача усложняется необходимостью адаптации



**Рис. 1. Зависимость извлечения и содержания меди в концентрате от содержания первичной меди при фабричном (а) и рекомендуемом (б) режимам флотации**

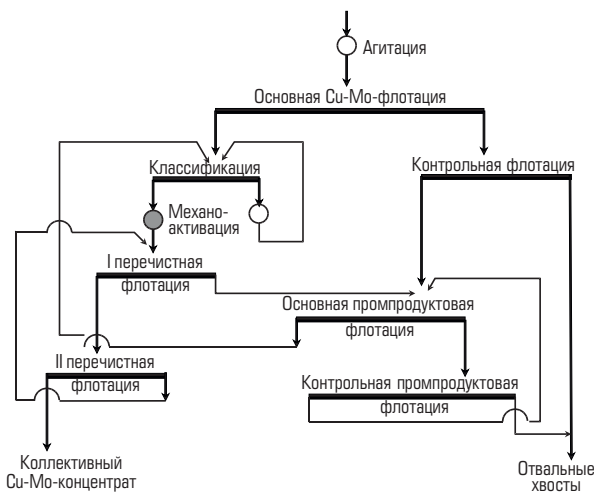
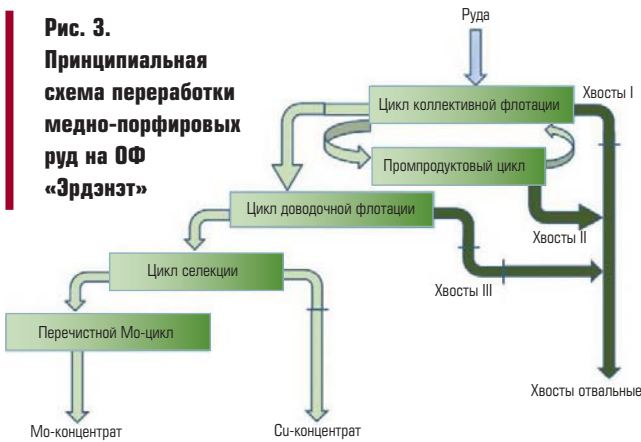
ции разработанной цепи аппаратов под имеющиеся площади. Как известно, схемы цепи аппаратов — это достаточно жесткие структуры, создаваемые под конкретный вид подаваемого сырья. В то же время потребность в увеличении производительности существующих предприятий предопределяет вовлечение в одновременную переработку разнозонных участков рудного тела, отличающихся как по содержанию полезных компонентов, так и по соотношению первичных и вторичных минералов, степени окисленности, содержанию шламов и т. п. Все эти факторы обуславливают создание схем с повышенной «гибкостью», позволяющих достаточно оперативно реагировать на изменение свойств поступающего сырья.

На обогатительной фабрике КОО «Эрдэнэт» реализована и в течение тридцати лет успешно эксплуатируется двухстадийная схема обогащения медно-молибденовых руд, так называемая, cleaner-scavenger — базовая для предприятий, перерабатывающих медно-порфиновые руды. Схема (**рис. 3**) включает три последовательных передела: коллективный цикл с получением коллективного медно-молибденового концентрата, содержащего 15–17 % меди и до 0,5 % молибдена; доводочный цикл (по терми-



**Рис. 2. Содержание ряда шлакообразующих компонентов в медном концентрате при следующих режимах: а — фабричном с собирателем ВК; б — рекомендуемом с собирателем Cytec**

**Рис. 3.**  
Принципиальная  
схема переработки  
медно-порфирировых  
руд на ОФ  
«Зрдэнэрт»



**Рис. 4.** Принципиальная схема 2–4-й секций  
коллективного цикла ИФО после реконструкции

нологии ОФ — медно-молибденовая флотация) с получением медно-молибденового концентрата, содержащего не менее 23 % меди; молибденовый цикл с получением кондиционного (не менее 47 % Мо) молибденового концентрата; медный концентрат получается камерным продуктом в основной молибденовой фло-

тации. Следует отметить, что 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 полусамоизмельчения, на остальных — в шаровых мельницах.

Принципиальным изменением собственно самой конфигурации явилось позиционирование узла доизмельчения. В основе предлагаемого решения — постоянно проводимый минералогический мониторинг технологических продуктов коллективного цикла.

В ранее эксплуатируемых схемах доизмельчалось питание промпродуктового цикла; по предлагаемому варианту на доизмельчение поступает пенный продукт основной флотации. В качестве вспомогательной использована операция механоактивации. Совокупность этих операций предопределила существенное улучшение качества пенного продукта перечистной операции, содержание меди в черновом концентрате достигло 17 % (тем самым степень концентрации по меди в первой перечистной операции составила 1,7; ранее не превышала 1,4). Тем самым по предлагаемой схеме возможно получение коллективного концентрата заданного качества непосредственно после первой перечистки. На рис. 4 приведена принципиальная схема переработки коллективного цикла как базовая для реконструированных секций. Одно из условий реконструкции — увеличение переработки по каждой секции.

После плановой реконструкции выработавших свой ресурс 2–4-й секций технологические схемы, реализуемые на данных секциях измельчительно-флотационного отделения, полностью унифицированы.

На рис. 5 показан вид секций № 2 до и после реконструкции. Особо следует отметить, что объем переработки по секции возрос с 4 до 6 млн т/год.

**Комплектация флотопарка.** За время работы предприятия в главном корпусе ОФ неоднократно вводились в эксплуатацию новые флотомшины. Это привело к тому, что на начало реконструкции секции были оснащены практически всем диапазоном



**Рис. 5.** Секция № 2 до (а) и после (б) реконструкции

типоразмеров флотомашин: ФПМ12,5; ОК38; ОК50; РИФ45; ОК 100ТС; Wetko4500 с камерами от 12,5 до 127 м<sup>3</sup>. Помимо чисто эксплуатационных проблем, работы с разнообъемными и разнотипными машинами всегда сопряжены с трудностями технологического характера, поскольку невозможно выдерживать единую идеологию управления операциями флотации, оснащенными неоднотипными флотомашинами. По результатам анализа работы флотомашин в операциях основной и контрольной флотации установлено, что оптимальными объемами камер флотомашин являются 25 и 45 м<sup>3</sup>, а в операциях перерывного и промпродуктового цикла — 16 м<sup>3</sup>.

Таким образом, в ходе реконструкции технологических секций измельчительного-флотационного отделения КОО «Эрдэнэт» выполнено следующее:

- унифицированы технологические схемы всех секций, что существенно улучшило контроль и управление процессом коллективной флотации;
- оптимизировано соотношение типоразмеров флотомашин в коллективном, перерывном и промпродуктовом циклах;
- увеличена производительность (до 50 %) по секциям;
- оптимизировано и стабилизировано питание флотосекций посредством повышения гибкости схем за счет объединения разгрузки восьми мельниц с последующим посекционным распределением пульпы;
- сокращена номенклатура установленного флотационного и вспомогательного оборудования.

### Зангезурский медно-молибденовый комбинат

Комбинат обрабатывает медно-молибденовые руды Каджаранского месторождения. Реконструкция мельнично-флотационного отделения обогатительной фабрики проводилась практически в тот же период, что и фабрики КОО «Эрдэнэт», поэтому положительные решения, реализованные на одном из предприятий, могли относительно быстро адаптироваться к условиям другого.

Спецификой руд, перерабатываемых на Каджаранской ОФ, является весьма низкое содержание меди (порядка 0,15 %) и относительно высокое содержание молибдена (0,045 %); усложняют процесс флотации глинистые компоненты и гидроксиды железа. В то же время работу фабрики характеризует один из самых высоких в мировой практике показателей извлечения молибдена — более 82 %. Поскольку на фабрике принята схема коллективной флотации, предусматривающая возврат промпродуктов в голову основной флотации, то и топология схем отдельных секций изначально унифицирована. Поэтому основной вектор реконструкции Каджаранской ОФ был направлен на посекционную замену флотационного оборудования более эффективным типа РИФ, что позволило по-

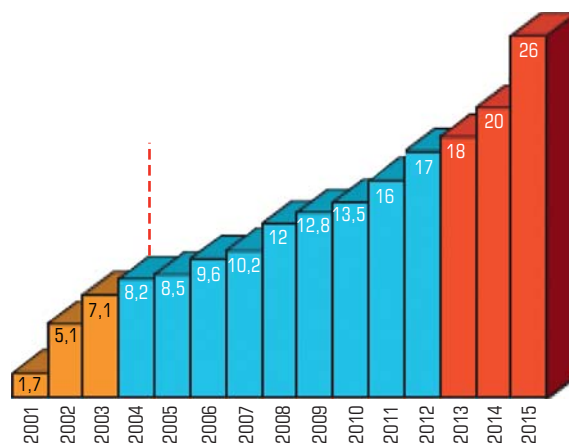


Рис. 6. Рост переработки на ОФ в результате последовательной реконструкции мельнично-флотационного отделения

следовательно повысить производительность ОФ с 8,4 до 20 млн т/год. Динамика роста переработки ОФ приведена на рис. 6.

**Комплектация флотопарка.** Следует отметить, что замена флотационного оборудования на Каджаранской ОФ носила не механистический характер, т. е. прямолинейная замена «объем на объем» не имела места. В основе выбора и обоснования флотационного оборудования лежал многолетний мониторинг

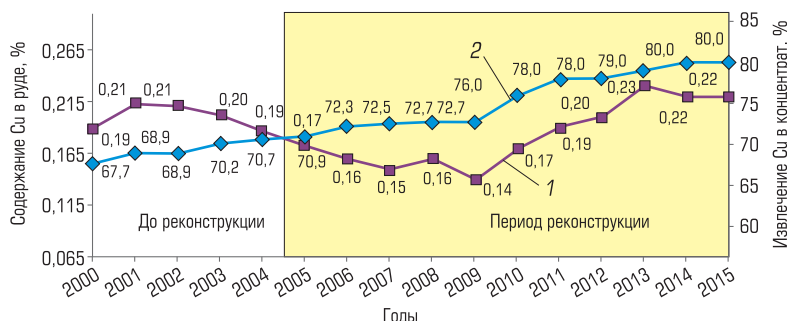


Рис. 7. Технологические показатели работы ОФ по меди:

1 — содержание Cu в руде; 2 — извлечение Cu в одноименный концентрат

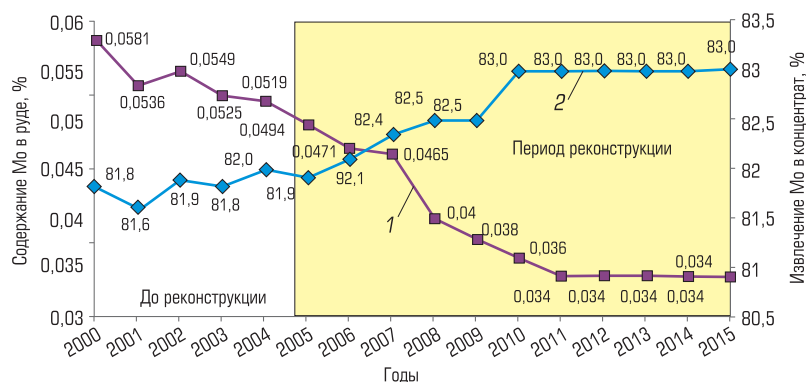


Рис. 8. Технологические показатели работы ОФ по молибдену:

1 — содержание Mo в руде; 2 — извлечение Mo в одноименный концентрат

вещественного состава технологических продуктов по реконструируемым секциям, что позволило выявить особенности изменения минеральной массы, переходящей в пенный и камерные продукты, что, в свою очередь, позволило сформировать требования к топологии схем, соотношению объемов флотационного оборудования по отдельным операциям, ряду технологических параметров и т. п.

Обоснованность выбора флотационного оборудования и оптимизация технологических параметров позволила в условиях значимого снижения содержания извлекаемых металлов в руде по-

высить технологические показатели по товарным концентратам. Эти позиции отражены на **рис. 7 и 8**.

### Заключение

Разработанная НПО «РИВС» концепция переработки медно-молибденовых руд показала высокую эффективность на рассмотренных в статье комбинатах, сейчас она проходит промышленную апробацию и на других предприятиях, перерабатывающих такие руды, — Алмалыкском ГМК (Узбекистан) и комбинате Carmen Cooper Corporation (Филиппины).

### Библиографический список

1. Барский Л. А., Плаксин И. Н., Турникова В. И. Комплексное обогащение молибденовых руд. — М.: Недра, 1965. — 199 с
2. Баатархуу Ж. Технология обогащения медно-порфировых руд на основе изучения их генетико-морфологических особенностей. — Эрдэнэт: МАМБХ — ММРА, 2006.
3. Зимин А. В., Назаров Ю. П. Разработка и внедрение новой технологии обогащения медно-молибденовых руд на комбинате «Эрдэнэт» // Горный журнал 2008. Спец. выпуск. С. 27–31.
4. Nakhael F., Irannajad M. Investigation of effective parameters for molybdenite recovery from porphyry copper ores in industrial flotation circuit // *Physicochemical Problems of Mineral Processing* 2014. Vol. 50(2). P. 477–491.
5. Paquot F. X., Ngulube C. Development and optimization of mixed sulphide/oxide copper ore treatment at Kansanshi // *Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015. Vol. 115(2). P. 1253–1258.
6. Boujounoui K., Abidi A., Bacaoui A., Amari K. El., Yaacoubi A. The influence of water quality on the flotation performance of complex sulphide ores: Case study at Hajar Mine, Morocco // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015. Vol. 115(12). P. 1243–1251.

7. Karimain A., Rezaei B., Masoumi A. The effect mixed collectors in the rougher flotation of sungun copper // *Life Science Journal*. 2013. No. 10. P. 268–272.
8. Ганбаатар З., Назаров Ю. П., Полянский М. В. Проектные решения при реконструкции главного корпуса КОО «Предприятие «Эрдэнэт» с применением оборудования НПО «РИВС» // Горный журнал. 2010. № 10. С. 87–92.
9. Пестряк И. В., Морозов В. В., Хандмаа С., Баатархуу Ж. Обогащение промпродуктов переработки медно-молибденовых руд с применением комбинированно флотационно-биогидрометаллургической технологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 2. С. 233–240.
10. Ганбаатар З., Лодойравсал Ч., Дэлэрбат Л., Дуда О. М., Морозов В. В. Обогащение медно-молибденовых с применением комплексного радиометрического анализа сортности руды // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 12. С. 176–182.
11. Арустамян А. М., Арустамян К. М., Акопян М. А., Маркрян А. В., Безиргян К. В. Результаты второго этапа технического перевооружения обогатительной фабрики Зангезурского ММК // Горный журнал. 2014. № 11. С. 110–112.
12. Акопян М. А., Маркрян А. В., Безиргян К. В., Арустамян М. А., Арустамян А. М. Увеличения объемов производства на обогатительной фабрике ЗАО «Зангезурский ММК» // Горный журнал. 2012. № 11. С. 87–90. **ГЖ**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 11, pp. 98–102  
DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.19

### Innovation approaches to modernization of copper-molybdenum ore processing plants

#### Information about authors

**A. V. Zimin**<sup>1</sup>, Chief Executive Officer, Candidate of Engineering Sciences  
**Yu. P. Nazarov**<sup>1</sup>, Director of Production Research Department, Candidate of Engineering Sciences,  
Y\_Nazarov@rivs.ru  
**A. M. Arustamyan**<sup>2</sup>, Chief Project Engineer

<sup>1</sup> IVS Joint Venture, Saint-Petersburg, Russia  
<sup>2</sup> RIVS-Project, Saint-Petersburg, Russia

#### Abstract

Domestic processing plants put into operation in the 1970–80s possess equipment that is generally worn out. Aside from mechanical wear, the processing equipment has become morally obsolete in the intervening years. In the conditions when mineral products recovered and fed for beneficiation show permanently lower content of useful components, mining and processing companies in the current crisis situation are faced with the need to elevate mineral processing level to retain the existing production data and preserve the profit.

As a rule, modernization and renovation are limited to partial substitution of reagents, replacement or complete updating of basic equipment and probable adjustment of process flow chart. This article considers experience gained by a large mining and processing plant gained in the production modernization with the concurrent standardization of layout of process flow charts, overall renewal of list of applied reagents and complete substitution of basic processing equipment. The three paths of modernization, without suspension of the production and degradation of the production performances, allowed reaching the next capacity level and, under conditions of reduced content of useful components of ore produced, enabled coming up to maximum values of metal recovery in concentrates in the history of the plant.

**Keywords:** copper-molybdenum ores, plant modernization, flotation equipment updating, process flow charts, reagent regimes.

#### References

1. Barskiy L. A., Plaksin I. N., Tyurnikova V. I. Complex concentration of molybdenum ores. Moscow : Nedra, 1965. 199 p.
2. Baatarxuu Zh. Technology of concentration of copper-porphyrus ores on the basis of investigation of their genetic-morphological peculiarities. Erdenet : MAMBKH — MMRA, 2006.
3. Zimin A. V., Nazarov Yu. P. Development and introduction of new technology of concentration of copper-molybdenum ores on Erdenet combine. *Gornyi Zhurnal*. 2008. Special issue. pp. 27–31.
4. Nakhael F., Irannajad M. Investigation of effective parameters for molybdenite recovery from porphyry copper ores in industrial flotation circuit. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 2014. Vol. 50(2). pp. 477–491.
5. Paquot F. X., Ngulube C. Development and optimization of mixed sulphide/oxide copper ore treatment at Kansanshi. *Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015. Vol. 115(2). pp. 1253–1258.
6. Boujounoui K., Abidi A., Bacaoui A., Amari K. El., Yaacoubi A. The influence of water quality on the flotation performance of complex sulphide ores: Case study at Hajar Mine, Morocco. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015. Vol. 115(12). pp. 1243–1251.
7. Karimain A., Rezaei B., Masoumi A. The effect mixed collectors in the rougher flotation of sungun copper. *Life Science Journal*. 2013. No. 10. pp. 268–272.
8. Ganbaatar Z., Nazarov Yu. P., Polyanskiy M. V. Project solutions during the reconstruction of the main building of Erdenet enterprise with application of equipment of the Scientific and Production Association “RIVS”. *Gornyi Zhurnal*. 2010. No. 10. pp. 87–92.
9. Pestyak I. V., Morozov V. V., Khandmaa S., Baatarxuu Zh. Concentration of industrial products of processing of copper-molybdenum ores with application of combined flotation-biohydrometallurgical technology. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2011. No. 2. pp. 233–240.
10. Ganbaatar Z., Lodayravsal Ch., Delgerbat L., Duda O. M., Morozov V. V. Concentration of copper-molybdenum ores with application of complex radiometric analysis of ore rating. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2011. No. 12. pp. 176–182.
11. Arustamyan A. M., Arustamyan K. M., Akopyan M. A., Markaryan A. V., Bezirganyan K. V. Results of the second stage of technical re-equipment of Zangezur Copper-Molybdenum Combine concentration plant. *Gornyi Zhurnal*. 2014. No. 11. pp. 110–112.
12. Akopyan M. A., Markaryan A. V., Bezirganyan K. V., Arustamyan M. A., Arustamyan A. M. Increasing of production volumes on Zangezur Copper-Molybdenum Combine concentration plant. *Gornyi Zhurnal*. 2012. No. 11. pp. 87–90.