

ore yields products meeting either standards of bulk concentrate or depleted marketable copper concentrate.

Keywords: low-grade ore, copper, molybdenum, mining and processing waste, mineralogical-and-technological assessment.

References

1. Malyshev Yu. N., Ryakhovskiy V. M., Bannikov V. F., Ryakhovskaya S. K. Mineralogy and geochemistry research — An efficient tool of improvement of mining waste processing technology. *Gornyi Zhurnal*. 2016. No. 1. pp. 72–76.
2. Methodical regulations for classification of deposit reserves and forecast resources of solid minerals. Molybdenium ores. Moscow, 2007. (in Russian)
3. Ganbaatar Z., Zimin A. V., Soloveva L. M., Nazarov Yu. P. Improvement of copper-molybdenum ore concentration technology at Erdenetiyn-Ovoo deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2010. No. 10. pp. 34–37.
4. Baatarkhuu Zh. Copper-porphyrific ore concentration technology on the basis of investigation of their genetic-morphological peculiarities. Erdenet, 2006.
5. Flotation Technology. Ed. by L. Wang, N. Shammass e.a. Humana Press, 2010. 701 p.

6. Nakhaei F., Iranmajad M. Investigation of effective parameter's for molybdenite recovery from porphyry copper ores in industrial flotation circuit. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 2014. Vol. 50(2). pp. 477–491.
7. Zimin A. V., Arustamyan M. A., Nazarov Yu. P., Ganbaatar Z. Development and implementation of new copper-molybdenium ore concentration technology at Erdenet combine. *Gornyi Zhurnal*. 2008. Special issue. pp. 27–31.
8. Barskiy L. A., Plaksin I. N., Tyurnikova V. I. Complex concentration of molybdenium ores. Moscow : Nedra, 1965. 199 p.
9. Shubov L. Ya., Ivankov S. I., Shcheglova N. K. Flotation agents in mineral concentration processes: in 2 books. Moscow : Nedra, 1990. Book 2. 263 p.
10. Bogdanov O. S. Theory and technology of ore concentration. Second edition. Moscow : Nedra, 1990. 363 p.
11. Ametov I., Grano S. R., Zanin M., Gredelj S., Magnuson R., Bolles T., Triffett B. Copper and molybdenite recovery in plant and batch laboratory cells in porphyry copper rougher flotation. *Proceedings of XXIV IMPC Beijing, 24–28 September 2008*. pp. 1129–1137.
12. Zanin M. A study of mechanisms affecting molybdenite recovery in a bulk copper/molybdenum circuit. *International Journal of Mineral Processing*. 2009. Vol. 93, Iss. 3-4. pp. 256–266.

УДК 658.512:622.012

ОПЫТ СП ЗАО «ИВС» ПО УПРАВЛЕНИЮ РЕКОНСТРУКЦИЕЙ НИКОЛАЕВСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ (КАЗАХСТАН), ВНЕДРЕНИЮ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ СОПРОВОЖДЕНИЮ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

М. А. АРУСТАМЯН¹, исполнительный директор, канд. техн. наук, rivs@rivs.ru
Л. М. СОЛОВЬЕВА¹, зам. директора департамента технологических исследований

С. В. НАУМОВ¹, руководитель проекта

¹ СП ЗАО «ИВС», Санкт-Петербург, Россия

Введение

В 2011 г. специалистами СП ЗАО «ИВС» разработан технологический регламент на реконструкцию Николаевской обогатительной фабрики (ТОО «Корпорация Казахмыс», Казахстан) для переработки полиметаллической руды Артемьевского месторождения и медно-цинковой руды Юбилейно-Снегирихинского месторождения.

Разработанная технология переработки руд текущей добычи на Николаевской обогатительной фабрике (НОФ) включала ряд принципиально новых операций в процессе флотационного обогащения, новый реагентный режим с применением современных реагентов, нового оборудования производства СП ЗАО «ИВС» во всех флотационных циклах и в процессах пульпоподготовки, позволивших значительно повысить достигнутые технологические показатели переработки полиметаллической руды на НОФ по сравнению с внедренной ранее технологией, созданной научно-исследовательским институтом BGRIMM (КНР), и медно-цинковой руды Юбилейно-Снегирихинского месторождения, по сравнению с действующей на НОФ технологией (табл. 1).

В НПО «РИВС-Проект» разработан проект на реконструкцию НОФ. Его реализация начата в мае 2012 г. и уже в конце августа того же года была введена в промышленную эксплуатацию новая технологическая линия — I межцикловая медная флотация (первая медная «головка»), которая осуществлялась на вновь уста-

Рассмотрены основные особенности современного подхода к управлению проектами по реконструкции и строительству промышленных объектов на примере реконструкции Николаевской обогатительной фабрики ТОО «Корпорация Казахмыс» (Казахстан). Отмечена важность поэтапной реконструкции технологических линий в условиях выполнения работ без остановки производства по выпуску товарной продукции. Существенный акцент сделан на значимости технологического сопровождения разработанной технологии по мере ввода в промышленную эксплуатацию реконструированных технологических линий.

Ключевые слова: Николаевская обогатительная фабрика, проект, управление, реконструкция, оборудование, технология, технологическое сопровождение.

DOI: [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.06](https://doi.org/10.17580/gzh.2016.11.06)

новленных флотомашин РИФ-25 производства СП ЗАО «ИВС». В период реконструкции НОФ осуществлена практически полная замена всего существующего парка флотомашин (в том числе китайского и отечественного производства) на новые современные флотомшины производства СП ЗАО «ИВС». Отличительной особенностью последних является высокая эффективность работы азрационных узлов РИФ с обеспечением оптимальных придонных и восходящих потоков, позволяющих увеличить количество тонкодисперсного воздуха и снизить мощность, потребляемую приводом блока азратора новой конструкции.

Введены в эксплуатацию новые флотационные технологические линии: межцикловая медная флотация при грубом помеле рудного сырья; операция выделения медной «головки», операции пульпоподготовки во флотационных циклах в специальных машинах ZIMAR производства СП ЗАО «ИВС». Полностью реконструи-

Таблица 1. Сравнительные технологические показатели переработки руд текущей добычи на Николаевской обогатительной фабрике

Компонент	Полиметаллическая руда Артемьевского месторождения		Медно-цинковая руда Юбилейно-Снегирихинского месторождения	
	Существующая технология	Регламент	Существующая технология	Регламент
<i>Содержание в руде, %</i>				
Cu	1,56	2,1	3,26	2,58
Pb	1,97	1,39		
Zn	7,41	5,07	2,42	2,44
Au	1,44	0,8	0,4	0,33
Ag	238,85	102,24	28,83	20,36
<i>Извлечение в концентрат, %:</i>				
Cu	72,07	87,65	87,95	84,42
Pb	68,75	65,24		
Zn	80,07	85,04	47,21	88,48
Au (во все концентраты)	62,44	61,13	72,08	58,98
Ag (во все концентраты)	80,62	77,25	84,7	60,95

ровано реагентное отделение в главном корпусе НОФ, отделение обезвоживания готовой продукции с заменой устаревшего оборудования на новое, с исключением операции сушки концентратов.

Управление проектом реконструкции Николаевской обогатительной фабрики

С целью своевременного и качественного выполнения намеченных мероприятий по реконструкции НОФ и с учетом большого накопленного опыта СП ЗАО «ИВС» по строительству новых горно-обогатительных предприятий, реконструкции и модернизации устаревших предприятий как в России, так и за рубежом заказчиком было принято решение о передаче дел по управлению проектом реконструкции НОФ совместному предприятию СП ЗАО «ИВС», осуществляемому с сентября 2013 г. по июнь 2015 г., с вовлечением персонала Управляющей компании в проект.

Главным условием выполнения работ по реконструкции фабрики являлось проведение работ без остановки НОФ, в условиях практически полной поэтапной реконструкции флотационного, реагентного и фильтровального отделений фабрики.

СП ЗАО «ИВС» выступило в роли генерального управляющего подрядчика, полностью выполняющего инвестиционный проект и принимающего на себя все риски по управлению проектом с момента проектирования и до момента передачи готового объекта заказчику (включая выполнение всех гарантийных обязательств).

Компания СП ЗАО «ИВС», как Управляющая компания проектом реконструкции НОФ, использовала новый современный EPCM-подход (Engineering Procurement Construction Management) в управлении проектами, главной особенностью которого (в отличие от классического подхода) является управление одновремен-

ной, параллельной реализацией четырех ключевых процессов: проектированием, оснащением, строительством, выводом на проектные показатели с передачей объекта эксплуатации заказчику. Четыре основных подразделения — департаменты проектирования, закупок, строительства и технологических исследований находятся в постоянном взаимодействии друг с другом [1–6].

Проведение строительно-монтажных работ на объекте без остановки производственного процесса обусловило необходимость осуществления постоянных работ по согласованию этапов выполнения проекта реконструкции НОФ со службой эксплуатации.

Одной из основных задач данного проекта являлось увеличение объема перерабатываемых руд на НОФ с 1,8 до 2,2 млн т в год. Основной рудой во всем объеме переработки рудного сырья является полиметаллическая руда Артемьевского месторождения, объем переработки которой составляет 1,6 млн т в год.

Управление проектом реконструкции НОФ СП ЗАО «ИВС» осуществляло по следующим направлениям:

- определение и управление содержанием проекта, планирование его реализации;
 - контроль исполнения намеченных технологических показателей производства;
 - определение и управление сроками выполнения работ проекта;
 - определение, детализация, управление и оптимизация затрат проекта;
 - управление проектированием и инжинирингом, включая контроль за реализацией предлагаемых проектных решений;
 - управление всеми контрактами проекта, включая подготовку предложений, переговоры, заключение от имени заказчика, администрацию и завершение контрактов;
 - управление поставками, включая доставку и внутреннюю логистику на площадке;
 - управление строительно-монтажными работами, включая монтаж закупаемого оборудования;
 - управление обучением эксплуатационного персонала;
 - управление сдачей объектов в эксплуатацию;
 - разработка и управление документооборотом и коммуникациями проекта;
 - управление рисками проекта, включая их определение, анализ, разработку реагирования, определение необходимых резервов и надежности соблюдения директивных показателей;
 - технологическое сопровождение вновь вводимых в промышленную эксплуатацию технологических линий после строительства, реконструкции, модернизации.
- С целью улучшения управляемости проектом реконструкции НОФ дополнительно были выделены так называемые подпроекты, т. е. поэтапные направления в составе проекта:
- реконструкция отделения измельчения главного корпуса;
 - реконструкция отделения флотации главного корпуса;
 - реконструкция дозировки в главном корпусе и отделения приготовления реагентов;
 - реконструкция отделений сгущения, фильтрации и отгрузки.

В связи с тем, что процесс реконструкции НОФ выполнялся без остановки технологического процесса, была разработана этапность ведения работ. Благодаря поэтапным запускам отдельных технологических линий, использованию временных технологических схем и технологическому сопровождению специалистами Управляющей компании удалось достичь рекомендованных показателей до полного завершения работ по реконструкции фабрики.

Технологическое сопровождение является одним из важных направлений деятельности СП ЗАО «ИВС» в период управления проектом реконструкции НОФ.

С марта 2013 г. введены в промышленную эксплуатацию следующие технологические линии: II межцикловая медная флотация (вторая медная «головка») и медно-свинцовая флотация, где в операциях II основной, контрольной медно-свинцовой и в перечистных циклах внедрено новое оборудование производства Управляющей компании: флотомашин РИФ-45, РИФ-25; контактные чаны; технологические машины ZIMAR, установленные в процессах подготовки поверхности минералов перед флотационными операциями.

Уже в III квартале 2014 г. были достигнуты проектные показатели по переработке полиметаллической руды — 280 т/ч. На **рис. 1** приведена динамика переработки полиметаллической руды Артемьевского месторождения до реконструкции (2012 г.), в период поэтапной реконструкции НОФ и в целом за 2015 г.

Проектные показатели по переработке руды достигнуты при выполнении всех режимных параметров в стадиях измельчения, в том числе по содержанию готового класса крупности.

В IV квартале 2014 г. по новой технологии в промышленную эксплуатацию введены цинк-пиритный и цинковый циклы флотации, а также цикл селекции медно-свинцового концентрата. Важно отметить, что до реконструкции НОФ селекция медно-свинцового концентрата из полиметаллической руды осуществлялась по бихроматной технологии [7–11]. Разработанная новая технология не предусматривает использования высокотоксичных реагентов: цианида натрия или бихромата [2, 3].

Промышленная отработка новой технологии осуществлялась специалистами СП ЗАО «ИВС» совместно с технологическим персоналом ОФ. Технологические показатели, полученные в вышеперечисленных циклах флотации, соответствовали рекомендованным показателям и отображены в совместном отчете представителей исполнителя и заказчика с выдачей рекомендаций по дальнейшему управлению технологическим процессом в соответствии с разработанным технологическим регламентом.

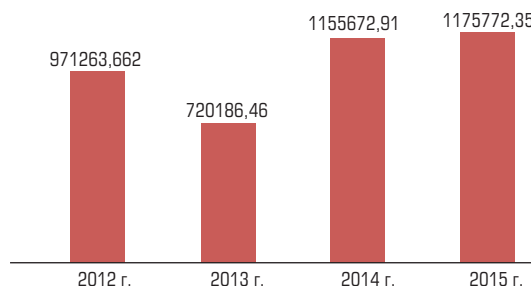


Рис. 1. Динамика переработки полиметаллической руды Артемьевского месторождения, т/год

При технологическом сопровождении новой технологии специалистами СП ЗАО «ИВС» проведено обучение персонала НОФ правилам эксплуатации нового оборудования, приемам правильного ведения технологического процесса по циклам переработки руд текущей добычи.

В период управления проектом реконструкции НОФ и технологического сопровождения вводимых производственных линий в промышленную эксплуатацию после реконструкции были выявлены значительные отклонения качества рудного сырья, поступающего на переработку, по содержанию ценных компонентов от регламентного уровня в сторону снижения практически по всем металлам. Так, содержание цинка в исходной руде снизилось с 6,11 до 3,84 % (при регламентном уровне 5,07 %), свинца — с 1,66 до 0,73 % (1,39 %), золота — с 1,27 до 0,34 г/т (0,8 г/т). В связи с этим возникла необходимость корректировки технологического регламента, что и было выполнено Управляющей компанией. Специалистами СП ЗАО «ИВС» разработаны и выданы технологическому персоналу НОФ новые режимные карты по расходу реагентов в каждую технологическую точку для руд с разным содержанием ценных компонентов. Данные **рис. 2** подтверждают эффективность разработанной технологии. Ее применение позволило повысить извлечение меди в медный концентрат на 16,22 %, цинка в одноименный концентрат на 2,04 %; извлечение золота в медный концентрат удалось сохранить на прежнем уровне при падении содержания золота в руде практически в четыре раза (с 1,27 до 0,35 г/т) (**табл. 2**), а также существенно сократить затраты на приобретаемые реагенты, особенно импортного производства, и затраты на переработку рудного сырья в целом.

В табл. 2 приведены достигаемые показатели обогащения полиметаллической руды в период поэтапной реконструкции НОФ по разработанной технологии.

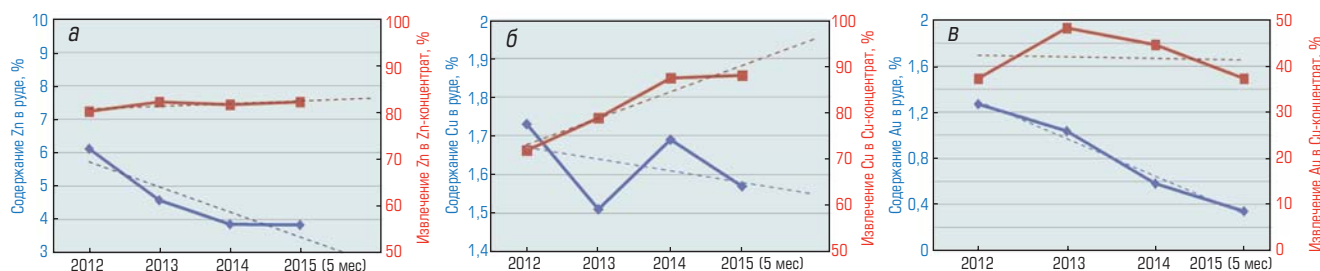


Рис. 2 Динамика изменения технологических показателей НОФ по цинку (а), меди (б) и золоту (в)

Таблица 2. Технологические показатели обогащения полиметаллической руды на Николаевской фабрике до реконструкции (2012 г.) и в период ее проведения (2013–2015 гг.)

Показатели		Ком-по-нент	2012 г.	2013 г.*	2014 г.**	5 мес. 2015 г.***
Содержание в руде, %		Cu	1,73	1,51	1,69	1,57
		Pb	1,66	1,35	1,03	0,73
		Zn	6,11	4,57	3,86	3,84
Содержание в руде, г/т		Au	1,27	1,04	0,58	0,35
		Au	125,7	99,91	58,56	39,9
Извлечение в концентраты, %	медный	Cu	71,92	78,91	87,52	88,14
	свинцовый	Pb	38,79	32,07	—	—
	цинковый	Zn	80,29	82,25	81,78	82,52
	медный	Au	37,32	48,26	44,7	37,32
	медный	Ag	49,23	51,31	48,49	43,35

* Рb-цикл работал по существующей технологии.

** Рb-концентрат не выделяли в связи со строительством линии обезвоживания и складирования.

*** Рb-концентрат выделяли периодически ввиду низкого содержания Рb в руде.

Важно отметить, что СП ЗАО «ИВС» не снимает с себя гарантированных обязательств по получению регламентных показателей по свинцовому переделу при обеспечении НОФ полиметаллической рудой Артемьевского месторождения с близким к регламентному уровню содержанием свинца.

Специалистами управляющей компании также выполнена статистическая обработка показателей обогащения руд Артемьевского и Юбилейно-Снегирихинского месторождений за период 2013–2015 гг. методом математического анализа; выявлены корреляционные зависимости показателей по извлечению металлов в одноименные концентраты при переработке руд текущей добычи. По полученным расчетам составлена матрица планирования технологических показателей обогащения минерального сырья в зависимости от его качества по содержанию ценных компонентов, согласована и передана заказчику.

Следует отметить, что в период управления СП ЗАО «ИВС» реконструкцией НОФ и технологического сопровождения разра-

ботанной технологии выявлено негативное воздействие на технологические показатели переработки руд текущей добычи используемой в технологии оборотной воды с постоянно меняющимся ионным составом.

Отличительной особенностью применяемой оборотной воды на НОФ являются: высокая остаточная концентрация ионов СаО и значительный водородный показатель (практически постоянно рН = 12); наличие в оборотной воде остаточной концентрации ксантогената и ионов тяжелых металлов. Причем содержание вышеперечисленных ионов в оборотной воде постоянно менялось в зависимости от сезонности.

В условиях дефицита чистой технологической воды на НОФ и с целью исключения негативного воздействия используемой оборотной воды на технологические показатели переработки руд текущей добычи Управляющей компанией в 2015 г. разработана технология кондиционирования оборотной технологической воды по ионному составу, с последующей разработкой проекта на строительство линии кондиционирования на НОФ.

В процессе реконструкции НОФ и технического сопровождения выполненные поэтапно работы оформлялись актами сдачи-приемки работ, с подтверждением достигнутых регламентных показателей по переделам технологии.

Заключительный этап промышленных испытаний и внедрения разработанной технологии показал, что достигнутые технологические показатели в период проведения промышленных испытаний при переработке полиметаллической руды Артемьевского месторождения и медно-цинковой руды Юбилейно-Снегирихинского месторождения на НОФ по проектной технологии соответствуют показателям, предусмотренным контрактом.

В настоящее время Николаевская обогатительная фабрика является одним из современных передовых предприятий ТОО «Востокцветмет».

Заключение

Большой накопленный опыт СП ЗАО «ИВС» в организации работ по строительству, реконструкции промышленных объектов, модернизации действующих производств (например: в России — Гайский, Сибайский, Учалинский ГОКи и др.; в Монголии — ГОК «Эрдэнэт»; в Армении — Зангезурский медно-молибденовый комбинат; в Узбекистане — Алмалыкский ГМК, ГМЗ-3, ГМЗ-4); собственному про-

Технологические линии после реконструкции Николаевской обогатительной фабрики



изводству современного оборудования для обогатительных фабрик позволили обеспечить новый подход к управлению проектом реконструкции Николаевской обогатительной фабрики с досрочным достижением гарантированных технологических показателей и значительному снижению себестоимости переработки рудного сырья в условиях действующего производства, т. е. без остановки производства товарной продукции в период реконструкции НОФ.

Технологическое сопровождение в период управления проектом реконструкции с поэтапным вводом технологических линий позволило дополнительно выполнить большой объем работ по своевременной корректировке и стабилизации рекомендованных показателей и режимных параметров в связи с изменением качества перерабатываемого сырья по содержанию ценных компонентов.

Разработаны и переданы заказчику:

- матрицы определения показателей по извлечению меди, свинца и цинка в одноименные концентраты в зависимости от их содержания в исходном сырье по каждому перерабатываемому сорту рудного сырья;

- новые реагентные режимы на каждый вид перерабатываемого рудного сырья в зависимости от его качества по содержанию ценных компонентов.

Выявлено негативное воздействие ионного состава оборотной воды на технологические показатели медно-свинцового цикла флотации и селекции медно-свинцового концентрата. По результатам проведенных исследований влияния оборотной воды различного ионного состава на технологические показатели обогащения полиметаллической руды выданы рекомендации по кондиционированию оборотной воды по ионному составу, разработан проект строительства технологической линии кондиционирования оборотной воды. В настоящее время строительство этой линии на НОФ находится в стадии завершения.

Реконструкция НОФ по новой разработанной СП ЗАО «ИВС» технологии, с оснащением новым современным обогатительным оборудованием позволила специалистам ТОО «Востокцветмет» решить не только поставленные производственные задачи, но и значительно улучшить условия труда рабочих, повысить уровень механизации, автоматизации производства.

Библиографический список

1. Малахов В. И. *Контрактные стратегии реализации инвестиционно-строительных проектов*. — М., 2013.
2. Шумская Е. Н., Соловьева Л. М., Поперечникова О. Ю. Совершенствование технологии обогащения полиметаллической руды Артемьевского месторождения // *Горный журнал*. 2012. № 11. С. 63–67.
3. Арустамян М. А., Соловьева Л. М. Внедрение новой технологии обогащения полиметаллической руды на Николаевской обогатительной фабрике ТОО «Корпорация Казахмыс» // *Горный журнал*. 2014. № 11. С. 70–74.
4. Ильина О. Н. *Методология управления проектами: становление, современное состояние и развитие*. — М.: ИНФРА-М, 2011. — 208 с.
5. Гергерт Д. В., Журавлева Ю. А. Выявление и оценка ключевых факторов управления проектами на ранней стадии реализации // *Российский журнал управления проектами*. 2014. Т. 3(2).
6. Conforto E. C., Amaral D. C. Agile project management and stage-gate model — A hybrid

- framework for technology-based companies *Journal of Engineering and Technology Management*. 2016. Vol. 40. P. 1–14.
7. ГОСТ Р 54869-2011. *Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом*. — М.: Стандартинформ, 2011.
8. Bulatovic S. M. *Handbook of Flotation Reagents. Chemistry, Theory and Practice. Flotation of Sulfide Ores*. Vol. 1. — Elsevier B. V., 2007. — 448 p.
9. Napiar-Munn T. J. *Statistical methods for mineral engineers. How to Design Experiments and Analyse Data*. — JKMRС, 2014.
10. Boujounoui K., Abidi A., Bacaoui A., El Amari K., 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. p. 1243–1251.
11. Vaněk M., Špakovská, K., Mikoláš M., Pomothy L. Continuous improvement management for mining companies // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015. Vol. 115. Iss. 2. p. 119–124. **ГЖ**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 11, pp. 31–35
DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.06

Experience gained by IVS in modernization project management, introduction of processing technology and its supervision at Nikolaevskaya Processing Plant, Kazakhstan

Information about authors

M. A. Arustamyan¹, Chief Operating Officer, Candidate of Engineering Sciences, rivs@rivs.ru
L. M. Solovyova¹, Deputy Director of Production Research Department
S. V. Naumov¹, Project Manager

¹ IVS Joint Venture, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

The article discusses key features of the modern approach to industrial construction and modernization project management in terms of renovation of Nikolaevskaya Processing Plant (NPP), Kazakhmys Corporation. The new practice developed within the project for processing of ore of current production included new operations of flotation circuit, new reagent regime based on advanced reagents and new equipment of IVS Joint Venture manufacture in all flotation cycles and pulp preparation processes, which allowed considerable improvement of complex ore processing performance. In the period of implementation of NPP renovation project, IVS Joint Venture specialists accomplished supervision of the technology, which enabled detecting violation of the quality standards of ore fed for treatment in the form of reduced contents of almost all valuable metals. For instance, the content of zinc of initial ore reduced from 6.11 to 3.84% (at standard quality level of 5.07%), lead — from 1.66 to 0.73% (1.39%) and gold — from 1.27 to 0.34 g/t (0.8 g/t). In connection with this, the management company developed and issued new charts of production procedures concerning consumption of reagents per each process circuit for ore with different contents of valuable components.

Keywords: Nikolaevskaya Processing Plant, project, management, modernization, equipment, technology, technological supervision.

References

1. Malakhov V. I. *Contract strategies of realization of investment-construction projects*. Moscow, 2013.
2. Shumskaya E. N., Soloveva L. M., Poperechnikova O. Yu. Improvement of the concentration technology of polymetallic ore of Artemevskoe deposit (Kazakhmys PLC, Republic of Kazakhstan). *Gornyi Zhurnal*. 2012. No. 11. pp. 63–67.
3. Arustamyan M. A., Soloveva L. M. Introduction of new technology of polymetallic ore concentration at Nikolaevsky concentration plant (Kazakhmys PLC). *Gornyi Zhurnal*. 2014. No. 11. pp. 70–74.
4. Ilina O. N. *Project management methodology: formation, modern state and development*. Moscow: INFRA-M, 2011. 208 p.
5. Gergert D. V., Zhuravleva Yu. A. Identification and Assessment of Project Management's Key Factors at Early Stage of Realization. *Rossiyskiy zhurnal upravleniya proektami*. 2014. Vol. 3(2).
6. Conforto E. C., Amaral D. C. Agile project management and stage-gate model — A hybrid framework for technology-based companies. *Journal of Engineering and Technology Management*. 2016. Vol. 40. pp. 1–14.
7. State Standard GOST R 54869-2011. *Project management. Requirements for project management*. Moscow: Standartinform, 2011. (in Russian)
8. Bulatovic S. M. *Handbook of Flotation Reagents. Chemistry, Theory and Practice. Flotation of Sulfide Ores*. Vol. 1. Elsevier B. V., 2007. 448 p.
9. Napiar-Munn T. J. *Statistical methods for mineral engineers. How to Design Experiments and Analyse Data*. JKMRС, 2014.
10. Boujounoui K., Abidi A., Bacaoui A., El Amari K., 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. pp. 1243–1251.
11. Vaněk M., Špakovská, K., Mikoláš M., Pomothy L. Continuous improvement management for mining companies. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015. Vol. 115, Iss. 2. pp. 119–124.