УДК: 338.45

К.А.ШТРЕСЛЕР, *доцент, sibirak@land.ru*
Ж.В.МИРОНОВА, *канд. техн. наук, доцент, mirgenni@yandex.ru*
Сибирский федеральный университет, Красноярск
А.В.КОНЕВ, *канд. физ.-мат. наук, заместитель генерального директора, 190712@land.ru*
С.П.КИСЕЛЕВА, *канд. техн. наук, главный специалист, ksp@sibmetproekt.ru*
ОАО «СибцветметНИИпроект», Красноярск

K.A.SHTRESLER, *associate professor, sibirak@land.ru*
Zh.V.MIRONOVA, *PhD in eng. sc., associate professor, mirgenni@yandex.ru*
Siberian Federal University, Krasnoyarsk
A.V.KONEV, *PhD in phys. & math. sc., the deputy director general, 190712@land.ru*
S.P.KISELYOVA, *PhD in eng. sc., chief specialist, ksp@sibmetproekt.ru*
Sibtsvetmetniiproyekt, Krasnoyarsk

ПОВЫШЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ЗОЛОТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ОБОГАЩЕНИЕМ

Оценку эффективности предварительного обогащения рудного сырья следует рассматривать не только через экономические аспекты изменения инвестиционной привлекательности месторождений в связи с пересмотром кондиций на добываемое сырье, но и с учетом предотвращенных ущербов окружающей среде.

***Ключевые слова*:** инвестиции, предварительное обогащение руд, бедные руды, горно-металлургический комплекс, оценка рудных полезных ископаемых, минерально-сырьевая база.

INCREASE THE INVESTMENT POTENTIAL OF DEPOSITS OF NON-FERROUS METALS AND GOLD PRE-ENRICHMENT

Evaluating the effectiveness of pre-enrichment of ore should be considered not only the economic aspects of the investment attractiveness of deposits in connection with the revision of Conditions by the producing raw materials, but also taking into account the prevention of environmental damage.

***Key words*:** investments, pre-concentration of ores, poor ore, mining and metallurgical complex, evaluation of ore minerals, mineral resources.

Эффективность работы горно-металлургического комбината (ГМК) зависит от внешних и внутренних факторов. Предприятия не имеют рычагов управления внешними факторами, но могут компенсировать их негативное влияние путем управления внутренними факторами.

Основным критерием эффективности работы предприятия в рыночной экономике является прибыль (П) или отношение эксплуатационных затрат (ЭЗ) к цене реализации (ЦТ) единицы товарной продукции – коэффициент $К_{эф}$ = ЭЗ/ЦТ, величина которого варьируется в странах с развитой горно-металлургической промышленностью в пределах 0,2-0,6, в СССР не опускался ниже 0,6-0,7, а в России приближается к единице из-за роста производственных затрат. Данный фактор стал доминирующим в годы перехода к либеральной экономике и самостоятельного выхода предприятий на мировые рынки.

Относительное изменение прибыли ΔП/П линейно зависит от объемов добычи и переработки Q, среднего содержания C, коэффициента извлечения J полезного компонента из руды и нелинейно – от потерь P, степени разубоживания R, ЭЗ и ЦТ [10]. Изменение цены на товар наиболее значимо влияет на ΔП/П в сравнении с другими рассматриваемыми факторами, но последними можно управлять путем увеличения Q, C и J, уменьшения тем самым ЭЗ. Наличие таких механизмов повышает устойчивость функционирования ГМК в условиях рынка.

Увеличение Q ограничено производительностью обогатительной фабрики (ОФ), а показателей C и J – природными свойствами и технологическими возможностями добычи, предварительного концентрирования полезного компонента путем выделения из отбитой горной массы породы (забалансовой руды), присутствие которых связано с геолого-экономическим разубоживанием $R_{г.э}$, обусловленным природными процессами рудообразования (наличием участков породы, некондиционных порций и кусков в рудном теле), условиями разведки, оконтуривания и подсчета экономически активных запасов руд в месторождении, и горно-технологическим разубоживанием $R_{г.т}$, определяемым технологией их добычи [11]. Поэтому отбитую руду условно можно разделить на кондиционную ($Q_{кр}$) и некондиционную ($Q_{н.с}$) составляющие. Последняя включает пустую породу $Q_{п.п}$ и забалансовую руду ($Q_{з.р}$).

Согласно данным опробования величина $R_{г.э}$ превышает для большинства руд 50 %, тогда как $R_{г.т}$ варьируется от первых процентов и до 30-50 %. Например, для алмазосодержащих месторождений доля кондиционных участков и порций объемом 5-10 дм^3 составляет менее 1 % всего объема рудного тела, для золотосодержащих – 10-25 %, для других цветных металлов до 50 % [2, 5].

Практика и численные оценки показывают [3], что относительный рост прибыли ΔП/П в решающей степени определяется снижением как раз геолого-экономического, а не горно-технологического разубоживания. Величина $R = R_{г.э} + R_{г.т}$ определяет теоретический предел кратности предварительного обогащения $K_{п.о} \approx Q/Q_к = C_к/C_р = 1/(1 - R)$, где $C_р$ и $C_к$ – содержание полезного компонента в отбитой руде и в концентрате ПО соответственно).

Внедрение предварительного обогащения (ПО) требует однако значительных капитальных вложений, сопровождается ростом удельных эксплуатационных затрат, а следовательно снижением ΔП/П. Поэтому важно, чтобы рост Δ П/П от сокращения разубоживания существенно превышал падение ожидаемой прибыли, связанное с капитальными и эксплуатационными затратами на ПО.

Эксплуатационные затраты горно-металлургического производства включают горно-технологические издержки (разведка, отбойка, экскавация и транспортировка руды) и затраты на переработку руды (дробление, измельчение, извлечение полезного компонента), которые примерно равны и обусловлены в основном энергопотреблением [1]. Например, состав и структура энергопотребления США следующие, %: горные работы 10; экскавация горной массы и ее транспортировка соответственно 27 и 11; дробление и измельчение руды 46; обогащение 6.

Технико-экономических анализ работы ГМК различных стран мира показывает, что соотношение горно-технологических затрат к стоимости переработки варьируется в 90-95 % случаев в пределах 0,5-1,5, а в 70-75 % случаев – 0,7-1,3, имея распределение, близкое к нормальному. Поэтому в настоящей работе можно без большой ошибки принять их равными.

Основным резервом снижения ЭЗ сегодня являются горно-технологические работы и выделение породы (забалансовой руды) в отвал на борту рудника (карьера, шахты), увеличение показателей Q и C в перерабатываемой руде, извлечения J полезного компонента в товарную продукцию, снижение затрат на транспортировку и измельчение руды, на мокрое хранение хвостов переработки.

За рубежом в настоящее время проводятся промышленные эксперименты, результаты которых позволяют надеяться на замену пиротехнического метода отбойки эколо-

гически более чистой и безопасной плазменной технологией фрагментации руд, что повысит микротрещиноватость кусков отбитой руды, снизит индекс Бонда и тем самым энергозатраты на дробление и измельчение руды на 20-30 %.

В рудоподготовке на смену доминирующему процессу полусамоизмельчения с применением мельниц типа AG/SAG, заменяющих вторую и третью стадии дробления, приходит более экономичная и экологичная технология с использованием валков высокого давления, обеспечивающих помол руды до 3-4 мм. Их применение переносит работу по дезинтеграции на дробление, энергоэффективность которого в разы выше измельчения, что снижает затраты на рудоподготовку на 30-35 %.

Согласно публикациям [6-9] ПО обеспечивает снижение себестоимости переработки золотосодержащих руд в 2–3 раза за счет следующих факторов:

• оптимизации разведочных и буровзрывных работ, применения дешевых массовых систем добычи;

• снижения затрат на внутризаводские перевозки, на дробление и измельчение руды до крупности 100 + 5 мкм;

• сокращения расхода реагентов на гравитацию, флотацию и сорбционное цианирование, на обезвреживание их хвостов и объемов мокрого складирования последних, производственного водооборота.

Эти утверждения, однако, не подкреплены технико-экономическими исследованиями в силу отсутствия соответствующих методик, эффективных инструментов их проведения (алгоритмов, компьютерных программ), возможностей сопоставления полученных результатов с данными промышленного применения ПО.

Нами разработана методика и получены аналитические выражения для оценки экономической эффективности $Э$, снижения Δ себестоимости извлечения полезного компонента с применением ПО:

$$Э = A/A_{п.о} \qquad (1)$$

$$\Delta = [Э - 1]Э, \qquad (2)$$

где A и $A_{п.о}$ – соответственно стоимость 1 кг металла в конечном продукте переработки руд (концентрате, черновом либо аффинированном металле) без и с предварительным обогащением (сортировкой) руды в зависимости от выхода $\gamma_{м.р}$ сортируемого («машинного») класса после крупного и среднего дробления, степени $I_{д.г}$ перераспределения полезного компонента между «машинным» и «немашинным» классами вследствие эффекта избирательного дробления – грохочения, выхода $\gamma_к$ и извлечения $J_с$ полезного компонента в концентрат, относительных затрат на переработку руды $\xi_п$.

Методикой учитывается также зависимость $\xi_п$ от роста объемов отбойки Q руды в порядке возмещения выделенной при сортировке части горной массы, а также извлечения J от содержания C полезного компонента в концентрате; относительное снижение удельных затрат на переработку сортированных руд и ряд других менее значимых факторов горно-металлургического производства.

Выполненные с использованием выражений (1) и (2) вариативные расчеты дают основания для следующих общих выводов безотносительно типа обогащаемых руд.

1. Величина $Э$ монотонно зависит от изменений основных факторов ПО, функция $Э = f(\gamma_{м.р}, I_{д.г}, \gamma_к, J_с, \xi_п)$ точек экстремума не имеет. Эффект от внедрения ПО тем значительнее, чем больше относительные затраты $\xi_п$ предприятии на переработку руды в общей стоимости товарной продукции ($\xi_п \to \max$), а также чем меньше затраты на само ПО ($\xi_с \to \min$). Наиболее перспективными объектами применения ПО являются ГМК, для которых реально снижение себестоимости производства на 40-60 % в зависимости от свойств руд, технико-экономических показателей работы фабрики предварительного обогащения (ФПО) и предприятия в целом.

Эффективность применения ПО на ГОКах несколько ниже, она обеспечивается за счет оптимизации разведочных и буровзрывных работ, сокращения затрат на добычу и транспортировку руды путем применения дешевых систем массовой отбойки, размещения ФПО рядом с рудником, сни-

жения энергозатрат на технологии дробления с максимальным выходом «машинного» класса в потоке перерабатываемой руды ($\gamma_{м.р} \rightarrow \max$), на измельчение концентрата ПО.

2. При прочих равных условиях Э тем значительней, чем меньше выход концентрата ПО ($\gamma_к \rightarrow \min$) и чем выше извлечение полезного компонента в него ($J \rightarrow 1$), т.е. при отработке месторождений цветных металлов и золота с высоким геолого-экономическим и горно-технологическим разубоживанием руд с минимальными потерями полезного компонента в хвостах.

Для урансодержащих руд ПО является практически единственным средством концентрирования полезного компонента перед химико-металлургическими процессами выщелачивания, последующего обогащения изотопа U-235 методами газовой диффузии, центрифугирования и т.д.

Влияние $\xi_п$, $\gamma_к$ и $J_с$, а также $\gamma_{м.р}$ и избирательного дробления-грохочения $I_{д.г}$ на результаты ПО сопоставимо по значимости и проявляется тем сильнее, чем больше выход $\gamma_{м.р}$ «машинного» класса руды. Действие фактора $I_{д.г}$ отражается в повышении либо в понижении показателей в зависимости от того, в надрешеточный ($I_{д.г} \leq 1$) либо в подрешеточный продукт ($I_{д.г} \geq 1$) концентрируется полезный компонент.

3. Предварительное обогащение открывает возможности экономической активизации отрабатываемых месторождений путем прироста запасов за счет снижения бортового содержания полезного компонента, повышения технико-экономических показателей предприятий в целом, а также эффективного освоения следующих месторождений:

1) крупных месторождений редких и редкоземельных металлов, золота (Наталкинского, Сухой лог, Нежданинского) с содержанием золота менее 2-3 г/т, отличающихся сложной структурой рудных тел, включающих «ядерную» и «фронтальные» зоны, разделяемых значительными промежутками вмещающих пород. Отработка таких рудных узлов по классической схеме экономически оправдано при объемах переработки в 30-50 млн т рудной массы в год. В горной части при этом принципиальных проблем не возникает, тогда как обогащение традиционными методами связано с технологическими сложностями и неблагоприятными экологическими последствиями [4].

2) металлогенных провинций, например Нижнего Приангарья, где в недрах Енисейского кряжа в районе радиусом 200-300 км сосредоточены месторождения золота с запасами около 2000 т, а также ниобия, урана, свинца, цинка, марганца и других цветных металлов.

В этом случае эффект обеспечивается за счет строительства на отдельных месторождениях рудников и ФПО, продукция которых (бедный концентрат, промпродукт с повышенным в 10-30 раз содержанием полезного компонента) перерабатывается химико-металлургическим заводом (с цехом глубокого обогащения), технология которого обеспечивает комплексное и высокое извлечение, получение черновых либо аффинированных металлов и соединений. Горно-технологические процессы такого кластера могут обслуживаться минимальным персоналом в вахтовом режиме. Рост транспортных расходов компенсируется экономией средств на строительство и эксплуатацию ОФ, металлургических отделений, мокрых хвостохранилищ на каждом месторождении.

С использованием методики выполняются прогнозные ТЭР после сбора данных геологической разведки конкретного месторождения и ТЭП отрабатывающего его предприятия. По результатам ТЭР принимается решение о целесообразности проведения НИОКР, разработки концепции проекта в формате Scoping Study с ТЭО кондиций и инвестиций, проектирование и строительство ГМК.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баранов В.Ф.* Обзор мировых достижений и проектов рудоподготовки новейших зарубежных фабрик // Обогащение руд. 2008. № 1, С.8-12.

2. *Батугин С.А.* Теоретические основы опробования и оценки запасов месторождений / С.А.Батугин, Е.Д.Черный. Новосибирск, 1998. 344 с.

3. *Батугина Н.С.* Новые аспекты оценки разубоживания руд при разработке месторождений/ Н.С.Батугина, И.Д.Джемакулова, С.М.Ткач // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: Сб. научн. тр. Красноярск, 2006, Вып.4, С.168-177.

4. *Брагина В.И.* Разработка ресурсосберегающей технологии обогащения фосфатно-редкометалльных руд / В.И.Брагина, Н.И.Коннова, Ю.В.Сушкина // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2011. Т.4, С.685-695.

5. Новые концепции и комбинированные геотехнологии освоения месторождений Республики Саха (Якутия) / С.А.Батугин, С.М.Ткач, Е.Ф.Маликов, В.М.Федоров // Наука и образование. 2001. № 4 (24). С.27-32.

6. Опыт и практика рентгенорадиометрической сепарации (РРС) золотосодержащих и других типов руд / Ю.О.Федоров, О.В.Коренев, В.А.Короткевич, В.П.Цой, М.Ю.Федоров, П.И.Ковалев, И.У.Кацер // Золотодобывающая промышленность. 2004. № 4. С.16-19.

7. Опыт и практика рентгенорадиометрической сепарации руд / Ю.О.Федоров, И.У.Кацер, О.В.Коренев и др. // Изв. вузов. Горный журнал (Уральское горное обозрение). 2005. № 5. С.21-37.

8. *Поляков А.В.* Особенности освоения золоторудных узлов Мотыгинского района Красноярского края // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: Сб. научн. тр., Красноярск, 2004. Вып.2. С.429-431.

9. *Ревнивцев В.И.* Рентгенорадиометрическое обогащение комплексных руд цветных и редких металлов / В.И.Ревнивцев, Т.Г.Рыбакова, Е.П.Леман. М., 1990. 120 с.

10. *Ткач С.М.* Условия компенсации неблагоприятных изменений управляемых и неуправляемых факторов внешней и внутренней среды при разработке рудных месторождений / С.М.Ткач, Н.С.Батугина, И.Д.Баракаева // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: Сб. научн. тр. Красноярск, 2007. Вып.5. С.296-302.

11. *Ткач С.М.* Анализ развития и вывод общей формулы коэффициента разубоживания руд / С.М.Ткач, Н.С.Батугина, И.Д.Джемакулова // Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны: Тр. междунар. науч.-практ. конф. Якутск, 2005. Т.3. С.223-225.

REFERENCES

1. *Baranov V.F.* Review of global developments and the latest draft of ore-preparation inevitably factories // Processing of Metals. 2008. N 1, P.8-12.

2. *Batugin S.A.* Theoretical basis of testing and evaluation of reserves / S.A.Batugin, E.D.Cherniy. Novosibirsk, 1998. 344 p.

3. *Batugina N.S.* New Aspects of ore dilution in the development of oil fields / N.S.Batugina, I.D.Dzhemakulova, S.M.Tkach // Modern technologies of mineral resources: Scientific works. Krasnoyarsk, 2006. Release 4. P.168-177.

4. *Bragina V.I.* Working Out of Resource-Saving Technology of Enrichment of Phosphate-Raremetall Ores / V.I.Bragina, N.I.Konnova, J.V.Sushkina // The Siberian Federal University Journal. 2011. Vol.4, P.685-695.

5. New concepts and combined geotechnology field development of the Sakha Republic (Yakutia) / S.A.Batugin, S.M.Tkach, E.F.Malikov, V.M.Fedorov // Science and education. 2001. N 4 (24.) P.27-32.

6. Experience and practice of X-ray radiometric separation (PPC) and other types of gold-bearing ores / Y.O.Fedorov, O.V.Korenev, V.A.Korotkevich, V.P.Choi, M.U.Fedorov, P.I.Kovalev, I.U.Katser // Gold mining industry. 2004. N 4, P.16-19.

7. Experience and practice X-ray radiometric separation ores / Y.O.Fedorov, I.U.Katser, O.V.Korenev and others // Proceedings of Institute of Higher edication. Mining Journal, 2005. N 5. P.21-37.

8. *Polyakov A.V.* Features gold exploration sites Motyginskaya district of the Krasnoyarsk Territory // Modern technologies of mineral resources: Scientific works. Krasnoyarsk, 2004. Release 2. P.429-431.

9. *Revnivcev V.I.* Rentgenoradiometriche-mechanical enrichment complex of non-ferrous and rare metals / V.I.Revnivcev, T.G.Rybakov, E.P.Lehman // Moscow, 1990. 120 p.

10. *Tkach S.M.* Terms offsetting of changes managed and unmanaged factors external and internal environment when developing mineral deposits / S.M.Tkach, N.S.Batugina, I.D.Barakayeva // Modern technologies of mineral resources: Scientific works. Krasnoyarsk, 2007. Release 5. P.296-302.

11. *Tkach S.M.* Analysis of the development and conclusion of the general formula dilution ratio of ore / S.M.Tkach, N.S.Batugina, I.D.Dzhemakulova // Problems and prospects of the complex development of mineral deposits permafrost: Proc. Intern. sci. practical. conf. / Yakutsk, 2005. Vol.3. P.223-225.