

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНЫМ СВОЙСТВАМ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

С использованием аналитических зависимостей, взаимоувязывающих выход концентратра и хвостов, извлечение металла в концентрат и хвосты с содержанием полезных компонентов в руде, концентратре и хвостах, определены показатели обогащения распространенных металлов, оценена роль принципа соответствия технологии переработки природным свойствам минерального сырья.

Для современной минерально-сырьевой базы черной, цветной металлургии и других добывающих отраслей промышленности Казахстана, как и других стран СНГ, характерно систематическое ухудшение горно-геологических условий разрабатываемых месторождений, снижение содержания основных полезных компонентов в руде, усложнение их минералогического состава, рост доли труднообогатимых руд и т.д.

В таких условиях только полное и комплексное использование минерального сырья (МС) может обеспечить конкурентоспособность продукции предприятий горно-металлургического комплекса. Оно может быть реализовано при полном соответствии технических средств и технологий переработки МС его природным свойствам и технологическим характеристикам. Такая согласованность выражает принцип соответствия, соблюдение которого приводит к высоким результатам в области комплексного и полного извлечения всех полезных компонентов, содержащихся в минеральном сырье.

Рассмотрим важность соблюдения принципа соответствия на примере процесса обогащения МС. Для анализа воспользуемся аналитическими зависимостями, полученными непосредственно из совместного решения уравнений баланса массы рудного сырья и баланса полезных компонентов при их переработке [1, 2]:

для выхода концентратра:

$$\gamma_k = \frac{M_k}{M_p} = \frac{\alpha - \delta}{\beta - \delta}, \quad (1)$$

для выхода хвостов:

$$\gamma_x = \frac{M_x}{M_p} = \frac{\beta - \alpha}{\beta - \delta}, \quad (2)$$

для извлечения полезного компонента в концентрат:

$$\varepsilon_k = \frac{M_k \beta}{M_p \alpha} = \frac{\alpha - \delta}{\beta - \delta} \frac{\beta}{\alpha}, \quad (3)$$

для извлечения полезного компонента в хвосты:

$$\varepsilon_x = \frac{M_x \delta}{M_p \alpha} = \frac{\beta - \alpha}{\beta - \delta} \frac{\delta}{\alpha}. \quad (4)$$

Из формул (1)–(4) следует, что

$$\gamma_k + \gamma_x = 1, \quad \varepsilon_k + \varepsilon_x = 1, \quad (5)$$

где M_p – масса рудного сырья, поступившего на переработку; M_k – масса полученного концентратра; M_x – масса хвостов; α – содержание полезного компонента в исходном сырье; β – содержание полезного компонента в концентратре; δ – содержание полезного компонента в хвостах; γ_k – выход концентратра; γ_x – выход хвостов; ε_k – извлечение полезного компонента в концентрат; ε_x – извлечение полезного компонента в хвосты.

Аналитические зависимости (1)–(4) для определения основных показателей обогащения полезных ископаемых по форме не сильно отличаются от известных в литературных источниках, но они четко аргументированы и устраниют отдельные шероховатости, присущие известным формулам [3, 4].

Интересные выводы вытекают из анализа уравнений (1) и (4). При идеальной технологии обогащения минерального сырья полезные компоненты в хвостах должны отсутствовать. В этой связи из (3) следует, что $\varepsilon_k = 1$, а выход концентратов (уравнение (1)) равняется отношению содержания полезного компонента в исходном сырье к таковому в концентрате. Чем больше металла в концентрате, тем меньше выход концентратов.

Другие, не менее важные выводы, можно сформулировать исходя из результатов прогнозирования показателей обогащения полезных ископаемых при различных значениях α , β и δ . Покажем это на примерах, для чего вычислим ожидаемые результаты обогащения самых распространенных медных, свинцовых и цинковых

руд с содержанием полезного компонента в сырье в пределах $\alpha_{\text{Cu}} = 0,40–1,5$, $\alpha_{\text{Pb}} = 0,8–3,0$, $\alpha_{\text{Zn}} = 1,0–5,5\%$, в концентрате $\beta_{\text{Cu}} = 12–37$, $\beta_{\text{Pb}} = 30–75$, $\beta_{\text{Zn}} = 40–55\%$, в хвостах $\delta_{\text{Cu}} = 0,08–0,33$, $\delta_{\text{Pb}} = 0,07–0,56$, $\delta_{\text{Zn}} = 0,09–0,63\%$. Эти данные взяты из литературных источников и отражают реальные достигнутые результаты на горно-обогатительных фабриках, включая негативные [3–6].

При изучении изменения показателей обогащения (извлечение полезного компонента в концентрат, выход концентратов) в зависимости от содержания полезного компонента в руде при заданных (или принятых) значениях β и δ , содержания полезных компонентов в концентратах и хвостах принимались равными их предельным значениям для соответствующих металлов. Причем минимальные значения δ соответствуют высокому, а максимальные значения – низкому уровню обогатительного процесса. Для сокращения объема записи расчетные значения анализируемых показателей обогащения изображены в виде графиков, представленных на рис. 1–3.

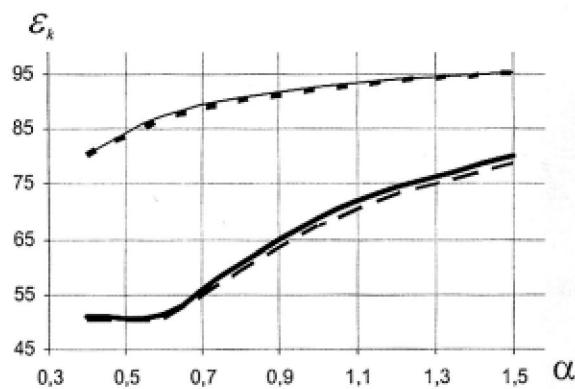


Рис. 1. Графики изменения показателей обогащения меди от содержания полезного компонента в руде:
— ($\beta = 12\%$, $\delta = 0,08\%$), — ($\beta = 12\%$, $\delta = 0,33\%$), ■ ■ ($\beta = 37\%$, $\delta = 0,08\%$), — — ($\beta = 37\%$, $\delta = 0,33\%$)

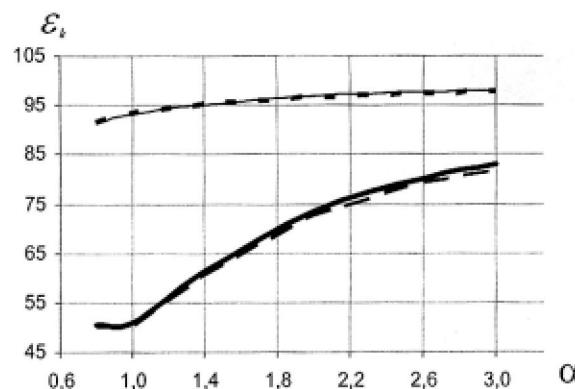
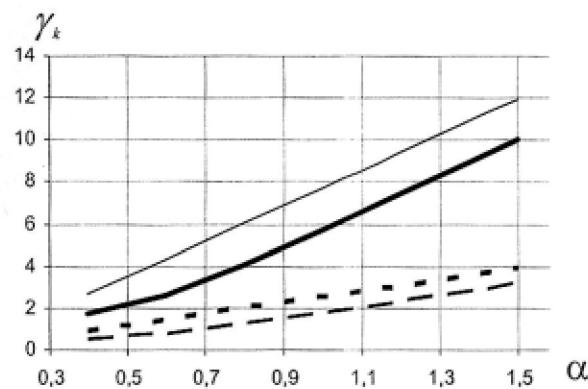
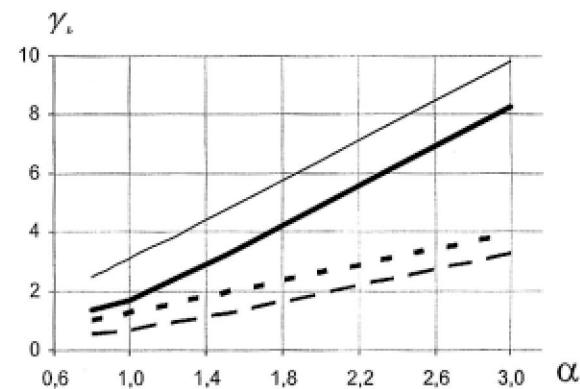


Рис. 2. Графики изменения показателей обогащения свинца от содержания полезного компонента в руде:
— ($\beta = 30\%$, $\delta = 0,07\%$), — ($\beta = 30\%$, $\delta = 0,56\%$), ■ ■ ($\beta = 75\%$, $\delta = 0,07\%$), — — ($\beta = 75\%$, $\delta = 0,56\%$)



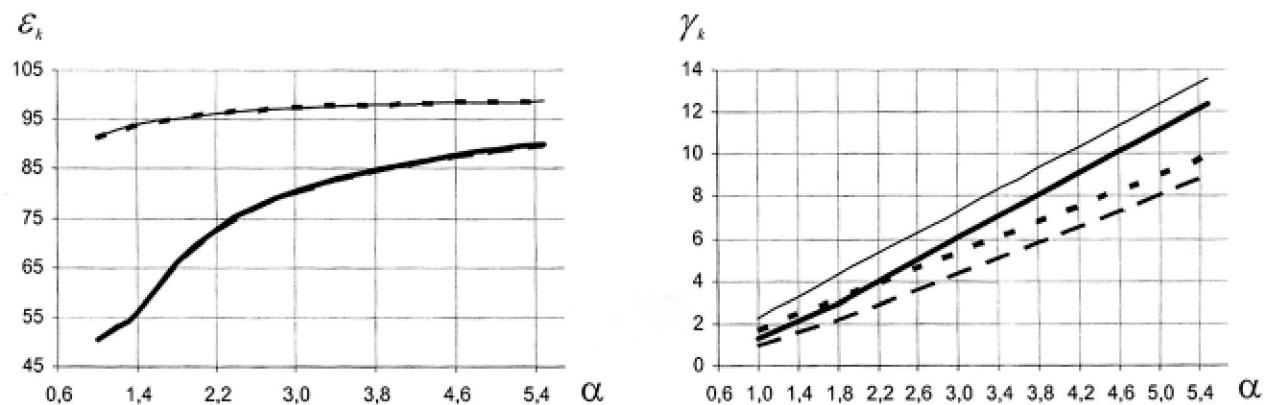


Рис. 3. Графики изменения показателей обогащения цинка от содержания полезного компонента в руде:
 — ($\beta = 40\%$, $\delta = 0,09\%$), — ($\beta = 40\%$, $\delta = 0,63\%$), ■ ■ ($\beta = 55\%$, $\delta = 0,09\%$), — — ($\beta = 55\%$, $\delta = 0,63\%$)

Реальные значения извлечения для меди при $0,08 \leq d_{Cu} \leq 0,33$ (рис. 1), для свинца при $0,07 \leq d_{Pb} \leq 0,56$ (рис. 2), для цинка при $0,09 \leq d_{Zn} \leq 0,63$ (рис. 3) могут лежать в полосе, ограниченной приведенными кривыми. Естественно, на каждом предприятии должны стремиться к верхней границе указанной полосы, путем создания технологий переработки, соответствующих реальным технологическим характеристикам минерального сырья.

Анализ графиков изменения извлечения полезных компонентов в концентрат и выхода последнего показывает, что для всех рассмотренных металлов исследуемые показатели улучшаются с увеличением содержания полезного компонента в руде. Исключение составляют случаи, когда содержание полезных компонентов в руде находится в пределах 0,4–0,6 % (Cu), 0,8–1,0 % (Pb) и 1,0–1,4 % (Zn). Здесь имеет место недопустимо неэффективная технология переработки, т.е. полный отход от принципа соответствия.

Из графиков 1–3 также следует, что содержание металлов в концентрате практически не оказывается на показателях их извлечения в концентрат. Этого нельзя сказать об изменении выхода концентратата. Здесь большему значению β соответствует меньший выход концентратата и наоборот. Как видно, в процессе обогащения главным итогом является содержание полезного компонента в хвостах – непосредственная характеристика технологии переработки полезных ископаемых. При прочих равных условиях при малом значении этого показателя, т.е. при эффективной технологии переработки сырья обеспечивается более высокий уровень извлечения полезных

компонентов. Такой результат вытекает из принципа соответствия.

Например, при содержании меди в руде 0,7 % ее извлечение в концентрат при $d_{Cu} = 0,33\%$ составляет 56 %, при $d_{Cu} = 0,08\%$ составляет 90 % (см. рис. 1), т.е. при более высокой технологии переработки ε_k увеличивается более чем в 1,6 раза. При $d_{Cu} = 0,03\%$ извлечение меди достигло бы 97 %. Для свинца с $\alpha_{Pb} = 1,8\%$ извлечение в концентрат при $d_{Pb} = 0,56\%$ составляет 70 %, при $d_{Pb} = 0,07\%$ составляет 96% (см. рис. 2). Таким образом, с улучшением технологии переработки в 1,37 раза. При $d_{Pb} = 0,03\%$ извлечение свинца достигло бы 98,4 %. Аналогичная картина характерна и для цинка (см. рис. 3). Эти данные убедительно подтверждают роль соблюдения принципа соответствия технологий обогащения природным и технологическим свойствам минерального сырья и указывают на резервы повышения эффективности процесса переработки МС.

Рассмотрим теперь изменения извлечения полезных компонентов и их выхода в зависимости от содержания полезного компонента в концентрате при принятых значениях, а для меди 0,4; 0,8; 1,2; 1,5 %, для свинца 0,8; 1,6; 2,4; 3,0 %, для цинка 1,0; 2,6; 4,2; 5,5 %, δ для меди 0,08; 0,33 %, для свинца 0,07; 0,56 % для цинка 0,09; 0,63 %. Расчетные значения извлечения полезных компонентов и их выходов графически представлены на рис. 4–6.

Анализ этих графиков показывает, что при одном и том же содержании полезного компонента в руде и при одном и том же его содержании в хвостах во всех случаях увеличение содержания

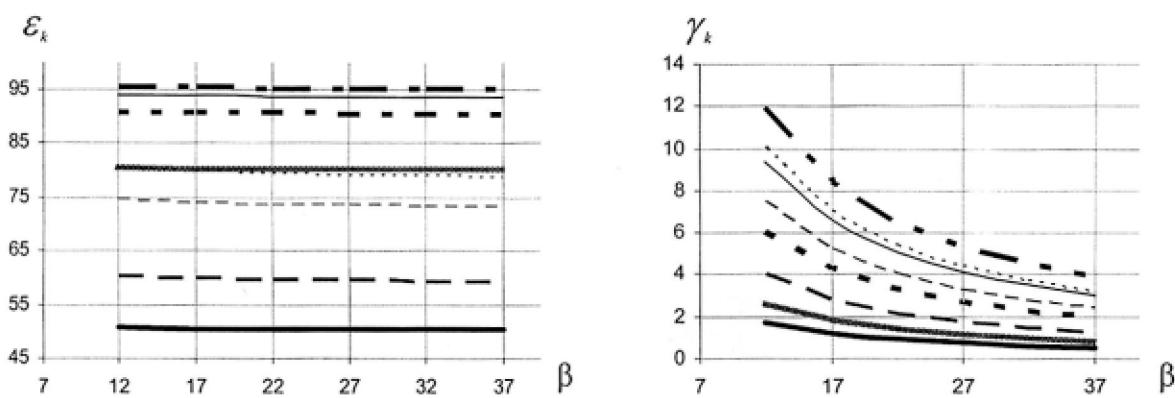


Рис. 4. Графики изменения показателей обогащения меди в зависимости от содержания полезного компонента в концентрате:
 — (α = 0,4 %, δ = 0,08 %), — (α = 0,4 %, δ = 0,2 %), ■ ■ (α = 0,8 %, δ = 0,08 %), — — (α = 0,8 %, δ = 0,33 %),
 — (α = 1,2 %, δ = 0,08 %), — — (α = 1,2 %, δ = 0,33 %), — — (α = 1,5 %, δ = 0,08 %), — — (α = 1,5 %, δ = 0,33 %)

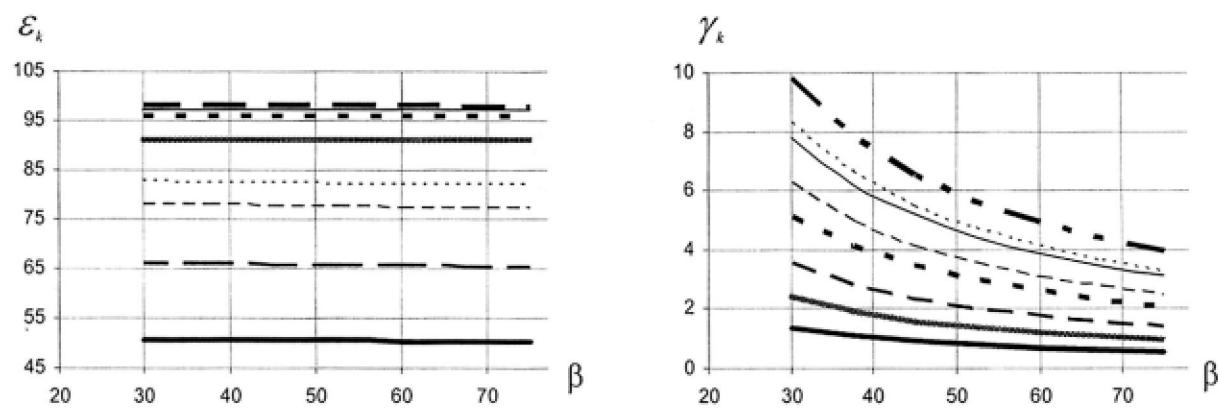


Рис. 5. Графики изменения показателей обогащения свинца в зависимости от содержания полезного компонента в концентрате:
 — (α = 0,8 %, δ = 0,07 %), — (α = 0,8 %, δ = 0,4 %), ■ ■ (α = 1,6 %, δ = 0,07 %), — — (α = 1,6 %, δ = 0,56 %),
 — (α = 2,4 %, δ = 0,07 %), — — (α = 2,4 %, δ = 0,56 %), — — (α = 3,0 %, δ = 0,07 %), — — (α = 3,0 %, δ = 0,56 %)

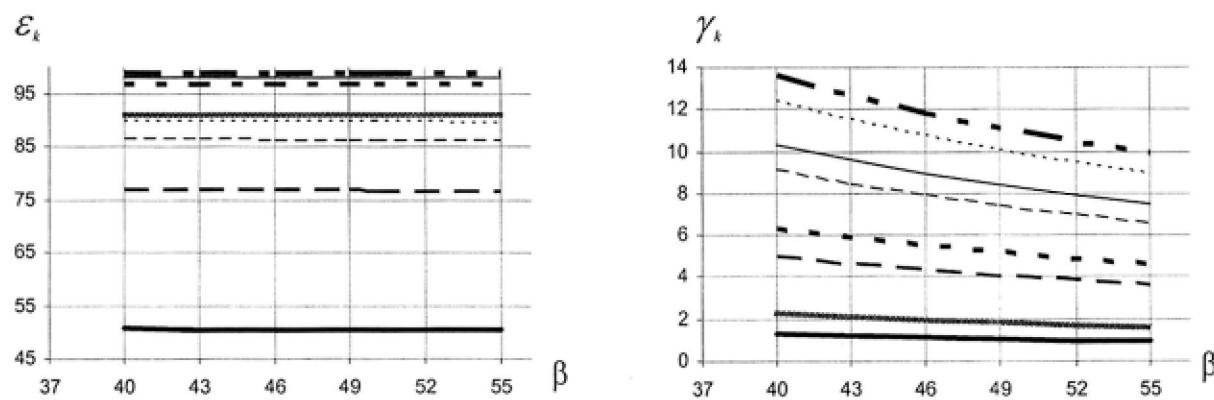


Рис. 6. Графики изменения показателей обогащения цинка в зависимости от содержания полезного компонента в концентрате:
 — (α = 1,0 %, δ = 0,09 %), — (α = 1,0 %, δ = 0,50 %), ■ ■ (α = 2,6 %, δ = 0,09 %), — — (α = 2,6 %, δ = 0,63 %),
 — (α = 4,2 %, δ = 0,09 %), — — (α = 4,2 %, δ = 0,63 %), — — (α = 5,5 %, δ = 0,09 %), — — (α = 5,5 %, δ = 0,63 %)

металла (Cu, Pb, Zn) в концентрате практически не оказывается на величине извлечения полезного компонента в концентрат, оно изменяется всего лишь на сотые доли процента. В этой связи

возникает вопрос о требованиях к концентратам по содержанию в них металлов.

Графики изменения извлечения металлов в зависимости от содержания металлов в концен-

трате (рис. 4–6) подтверждают высокий уровень извлечения металлов, как и в предыдущем случае, при надлежащей технологии обогащения. Что касается выхода концентратов, то он уменьшается с увеличением содержания металла в концентрате. Эта закономерность более интенсивна для всех руд с большим содержанием металла, что вытекает из анализа уравнения (1).

Для выявления зависимости изменения показателей обогащения от содержания полезных компонентов в хвостах (для меди 0,08; 0,13; 0,18; 0,23; 0,28; 0,33 %, для свинца 0,07; 0,17; 0,27; 0,37; 0,47; 0,57 %, для цинка 0,09; 0,20; 0,30; 0,41; 0,52; 0,63 %) при принятых значениях α (для меди 0,4; 0,8; 1,2; 1,5 %, для свинца 0,8; 1,6; 2,4; 3,0 %, для цинка 1,0; 2,6; 4,2; 5,5 %) и β (для меди 12; 37 %, для свинца 30; 75%, для цинка 40; 55 %) по приведенным выше формулам проведены соответствующие расчеты. Их результаты в графической форме представлены на рис. 7–9.

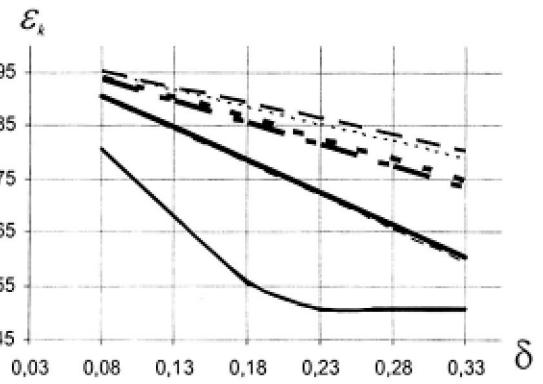


Рис. 7. Графики изменения показателей обогащения меди в зависимости от содержания полезного компонента в хвостах:
— ($\beta = 12 \%$, $\alpha = 0,4 \%$), — ($\beta = 12 \%$, $\alpha = 0,8 \%$), ■ ■ ($\beta = 12 \%$, $\alpha = 1,2 \%$), — — ($\beta = 12 \%$, $\alpha = 1,5 \%$),
— ($\beta = 37 \%$, $\alpha = 0,4 \%$), — — ($\beta = 37 \%$, $\alpha = 0,8 \%$), — — ($\beta = 37 \%$, $\alpha = 1,2 \%$), — — — ($\beta = 37 \%$, $\alpha = 1,5 \%$)

Из этих графиков следует, что с увеличением содержания полезных компонентов в хвостах ухудшаются показатели извлечения в концентрате всех металлов. Видно, что чем хуже качество руды, тем ниже извлечение в концентрат, что подтверждает ранее приведенные результаты. Эти результаты говорят о том, что в качестве основного критерия оценки технологии переработки минерального сырья может быть принят выход полезных компонентов в хвосты.

Интенсивность снижения E_k очень высока при низком содержании металлов в руде в диапазоне $\delta_{Cu} = 0,18\text{--}0,33$, $\delta_{Pb} = 0,38\text{--}0,5$, $\delta_{Zn} = 0,5\text{--}0,6 \%$ (см. рис. 7–9), что свидетельствует о несоответствии технологий обогащения реальным технологическим свойствам металлов. При этом не обнаруживается воздействие содержания металлов в концентрате на результаты их извлечения, о чем было сказано выше. Выход концентратов во всех случаях слабо уменьшается с увеличением

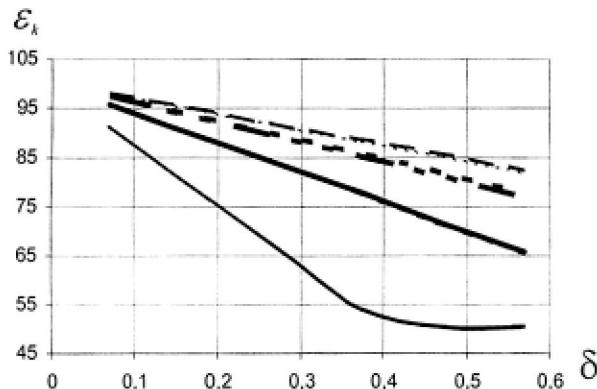
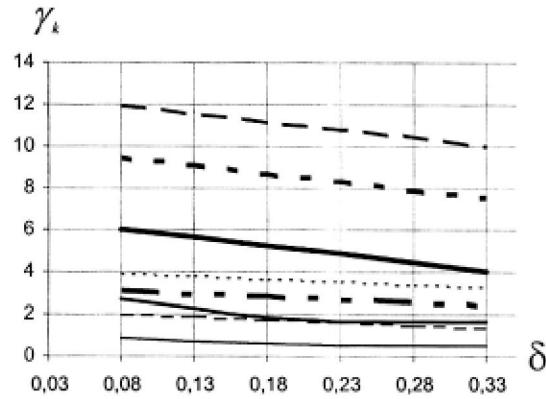
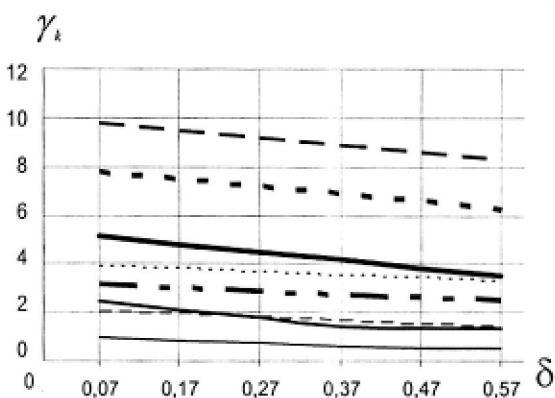


Рис. 8. Графики изменения показателей обогащения свинца в зависимости от содержания полезного компонента в хвостах:
— ($\beta = 30 \%$, $\alpha = 0,8 \%$), — ($\beta = 30 \%$, $\alpha = 1,6 \%$), ■ ■ ($\beta = 30 \%$, $\alpha = 2,4 \%$), — — ($\beta = 30 \%$, $\alpha = 3,0 \%$),
— ($\beta = 75 \%$, $\alpha = 0,8 \%$), — — ($\beta = 75 \%$, $\alpha = 1,6 \%$), — — ($\beta = 75 \%$, $\alpha = 2,4 \%$), — — — ($\beta = 75 \%$, $\alpha = 3,0 \%$)



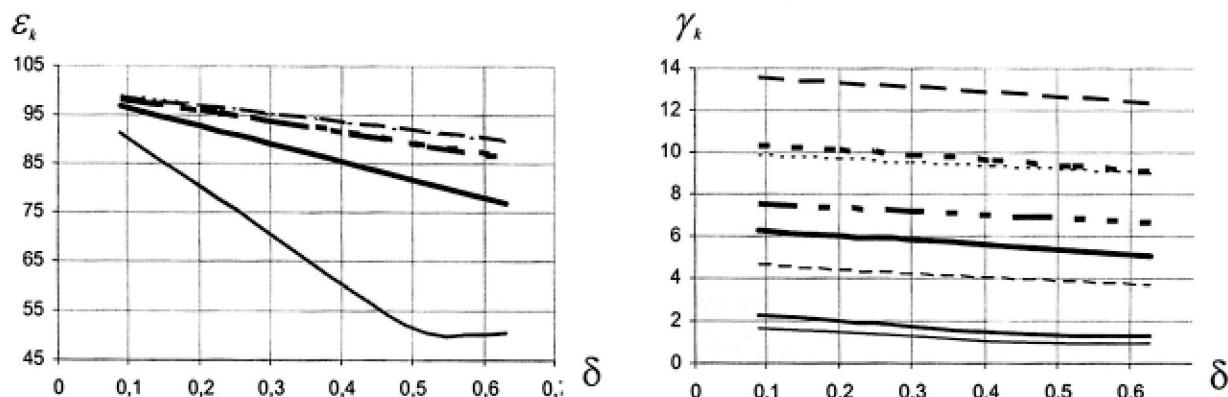


Рис. 9. Графики изменения показателей обогащения цинка в зависимости от содержания полезного компонента в хвостах:
 — ($\beta = 40\%$, $\alpha = 1,0\%$), — ($\beta = 40\%$, $\alpha = 2,6\%$), ■ ■ ($\beta = 40\%$, $\alpha = 4,2\%$), — — ($\beta = 40\%$, $\alpha = 5,5\%$),
 — ($\beta = 55\%$, $\alpha = 1,0\%$), — — ($\beta = 55\%$, $\alpha = 2,6\%$), — — ($\beta = 55\%$, $\alpha = 4,2\%$), — — ($\beta = 55\%$, $\alpha = 5,5\%$)

содержания металлов в хвостах. Более высокий выход концентратов характерен для относительно богатых руд.

Выявленные закономерности изменения технологических показателей обогащения полезных ископаемых хорошо согласуются с результатами лабораторных, экспериментальных работ ученых, работающих в этой области, а также с практическими данными горно-обогатительных предприятий Казахстана [5, 6]. Они убедительно показывают, что соблюдение принципа соответствия технологии переработки минерального сырья его природным свойствам и технологическим характеристикам может привести к высоким показателям извлечения полезных компонентов из руды. В этом заключается главная задача горно-металлургического комплекса на данном этапе развития.

Заключение. Полное и комплексное использование минерального сырья может быть реализовано при полном соответствии технологических средств и технологий переработки МС его природным свойствам и технологическим характеристикам.

В качестве основного критерия оценки технологии переработки минерального сырья может быть принят выход полезных компонентов в хвосты.

По величине этого показателя можно судить об уровне соответствия технологий переработки МС его природным свойствам и технологическим характеристикам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ракишев Е.Б. Прогнозирование некоторых показателей обогащения полезных ископаемых // Вестник КазНТУ. 2007. № 3. С. 75-81.
2. Ракишев Б.Р. Геотехнологическое управление качеством минерального сырья. Алматы: КазНТУ, 2009. 319 с.
3. Шилаев В.П. Основы обогащения полезных ископаемых. Учебное пособие для вузов. М.: Недра, 1986. 296 с.
4. Саградян А.Л., Суворовская Н.А., Крангачев Б.Г. Контроль технологического процесса флотационных фабрик. Изд. 3-е. М.: Недра, 1983. 407 с.
5. Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Т. 5. Некоторые вопросы теории и технологии переработки медных руд. Алматы, 2008. 428 с.
6. Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Т. 6. Новое в технологии свинца и цинка. Алматы, 2008. 320 с.

Резюме

Концентрат пен қалдықтардың шығуын, концентратқа металды бөліп алуды көндегі, концентраттарғы және қалдықтағы пайдалы компоненттердің мөлшерлерімен өзара байланыстырытын аналитикалық тәуелділіктерді пайдаланып, кең тараған металдарды байыту көрсеткіштері анықталған, өндөу технологиясының минералдық шикізаттың табиги қасиеттеріне сәйкестік принциптерінің ролі бағаланған.

Summary

The indices of some metals processing are determined with a help of the analytical dependences, which correlate mutually the output of concentrate and tails, extraction of metal in concentrate and tails with content of useful components in ore, concentrate and tails. These dependences allow easily to estimate role of the principle of conformity between the processing technology and properties of mineral raw material.

КазНТУ им. К. И. Сатпаева,
г. Алматы

Поступила 30.10.09г.