

УДК 622.272

А.В. Андреев**МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАНИЯ
КАЧЕСТВА РУДЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ
ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПЕРЕДЕЛА**

Установлены законы и параметры распределения содержания основного стабилизируемого показателя в массиве и рудах, поступающих на переработку, что позволило использовать их для математического моделирования при установлении колебания качества руды, поступающей на обогатительную фабрику подземной добычи. Законы справедливы для любых руд и могут применяться в качестве оценки влияния колебаний качества руды на извлечение металла при условии, что величина извлечения металла имеет достаточно тесную связь с содержанием металла в добытой руде. Результаты работы могут быть использованы на действующих горно-обогатительных предприятиях для оценки влияния стабильности рудопотока на показатели обогатительного передела.

Ключевые слова: содержание металла в руде, колебание качества руды, обогатительная фабрика, математическое моделирование, дисперсия, коэффициент вариации, обогащение руд.

Производство металлов представляет собой процесс последовательной переработки добытого сырья, причем значительная часть полезных компонентов теряется в процессе обогащения [1]. Одним из факторов, оказывающих негативное влияние на показатели обогатительного передела, являются колебания качества руды, поступающей на переработку.

Под основным показателем качества руды понимается содержание полезного компонента. Содержание металла в руде рассматривается как случайная величина с производной унимодальной симметричной относительной плотностью распределения $\rho(a)$ в интервале l , таким образом

$$\bar{a} = \int_{a-l}^{\bar{a}+l} a\rho(a)da, \quad (1)$$

Исследования проводились на примере ОАО «Дальполиметалл». В первую очередь определялся характер распределения содержания основного полезного компонента в рудах Николаевского месторождения, поступающих на переработку. Для этого устанавливались центральные моменты распределения основного компонента в массиве.

Первый моменты распределения — эмпирическое среднее исследуемой случайной величины (содержание металла в рудном массиве):

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \quad (2)$$

где a_i ($i=1,2,\dots,n$) — значения случайной величины a

Затем определяется второй момент распределения, называемый дисперсией (показатель рассеяния),

$$m_2 = \sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(a_i - \bar{a})^2}{n}, \quad (3)$$

Третий (m_3 — показатель асимметрии) и четвертый (m_4 — показатель эксцесса или островершинности) моменты распределения позволяют определить плотность вероятности распределения содержания основного полезного компонента в рудах Николаевского месторождения, поступающих на переработку.

Исследованиями установлено, что распределение свинца и цинка в рудах ОАО «Дальполиметалл», поступающих на переработку ЦОФ можно считать нормальным.

Центральная обогатительная фабрика (ЦОФ) ОАО «Дальполиметалл» оборудована автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУТП), которая совместно с автоматизированной системой анализа содержания металла в потоке пульпы (АСАП), позволит управлять процессом флотации, но только в заданных пределах содержания полезного компонента и стабильном потоке руды.

В работах [3, 4, 5] авторы приходят к выводу, что основным оценочным критерием, позволяющим установить уровень потерь металла вследствие поставок на фабрику руд нестабильного качества, является снижение извлечения металла в концентрат при обогащении (ΔE).

На первом этапе исследования влияния колебания качества руды подземной добычи на технологические показатели обогащения осуществлялись методом пассивного эксперимента. При обработке данных, полу-

ченных в результате пассивного эксперимента, использовались вероятностно-статистические методы исследования и математический аппарат корреляционного и регрессионного анализа.

Поступление на обогатительную фабрику руды нестабильного качества в партиях сменной и суточной производительности приводит к тому, что фабрика работает в неоптимальном режиме около 40—55 % рабочего времени, что приводит к снижению эффективности обогащения, главным образом, за счет снижения извлечение металла в концентрат при обогащении и, соответственно, увеличения потерь металла.

Нами использовались теоретические расчеты [3, 4, 5] возможного недоизвлечения количества металлов (ΔE) вследствие колебаний качества руды, поступившей на переработку.

Нижеприведенная зависимость выводится из предположения, что значения содержания металла в концентрате (β_0) и в хвостах (θ) при обогащении задаются заранее и при одинаковой тонине помола руды практически постоянны

$$\Delta E = \frac{S'}{a} \sum \frac{m_{2n}}{a^{2n}} \Delta, \quad (4)$$

т металла/ т металла

где $m_{2n} = \int_{a-l}^{\bar{a}+l} (a - \bar{a})^{2n} \rho(a) da$ — центральные моменты четного порядка случайной величины;

$$S' = \frac{\beta_0 \theta}{\beta_0 - \theta}, \quad (5)$$

где B_0 — содержание металла в концентрате, доли ед.; θ — содержание металла в хвостах, доли ед.; \bar{a} — среднее условное содержание основного металла в руде, доли ед.

Упрощенный вид формулы 4 запишется в виде:

$$\Delta E = \frac{S'}{a} V_a^2, \text{ доли ед.} \quad (6)$$

где $V_a = \frac{\sigma_a}{a}$ — коэффициент вариации a , доли ед. (7)

Анализ погрешностей, выполненных на практических примерах, показывает, что величина ошибки при использовании формулы 4 по сравнению с формулой 6 не превышает 0,05 %. Таким образом, колебания содержания металла в руде снижают извлечение металла в концентрат приблизительно пропорционально коэффициенту вариации величины a .

Приведенные выше зависимости справедливы для любых руд и могут применяться в качестве оценки влияния колебаний качества руды на извлечение металла при условии, что величина извлечения металла определяется в основном содержанием металла в добытой руде [4].

Для проверки изложенных выше теоретических положений в условиях ПО "Дальполиметалл" нами были использованы вероятностно-статистические методы исследования данных технологического процесса добычи и переработки руды.

Кроме того, на рассматриваемом предприятии, при незначительных колебаниях основного компонента в концентрате и хвостах обогащения, между извлечением металла в концентрат и содержанием его в добытых рудах существует достаточно тесная корреляционная зависимость, поэто-

му формула 6 может быть вполне использована для определения потерь металла при переработке руд нестабильного качества в условиях ОАО "Дальполиметалл"/6/.

Высокая сходимость (10—15 %) результатов статистического анализа исходных данных, оценивающих влияние колебания качества руды на извлечение металла в концентрат, с теоретическими разработками [7] позволяет использовать последние для экономической оценки последствий от поставок на фабрику руды нестабильного качества.

Если экономические последствия от поставок на обоганительную фабрику руды нестабильного качества относить на тонну конечной продукции (в данном случае на тонну металла в концентрате), то помимо ущерба от потерь металла, которые запишутся

$$U_{п.м.} = \Delta E \cdot C_0, \text{ р/т металла в концентрате} \quad (8)$$

необходимо учесть дополнительные затраты для добычи и переработки руды с целью компенсации недополученного металла ($\Delta Z_{к.м.}$) /7/.

$$\Delta Z_{к.м.} = \frac{\Delta E}{a E_{\text{онт}}} C_{q.n.}, \text{ р/т металла в концентрате} \quad (9)$$

Суммарное значение запишется в виде

$$\Pi_{п.к} = \frac{\Delta E (C_0 \cdot \bar{a} E_{\text{онт}} + C_{q.n.})}{\bar{a} E_{\text{онт}}}, \text{ р/т} \quad (10)$$

Таким образом, экономические последствия от поставок на переработку руды нестабильного качества складываются из ущерба потерь металла при обогащении и удельных за-

трат на добычу и переработку дополнительного объема руды в количестве, необходимом для компенсации потерь металла.

Методика установления экономических последствий от поставок на обогатительную фабрику руды нестабильного качества имеет следующую последовательность.

1. Устанавливаются стабилизируемые показатели, оказывающие наибольшее влияние на технологические показатели обогащения. Если стабилизируемых показателей несколько и между ними нет взаимосвязи, необходимо учитывать влияние каждого из них на показатели обогащения.

Если такая связь существует, стабилизируемые показатели выражаются через один, отвечающий требованиям простоты контроля и наиболее полного и достоверного отражения технологических свойств руды. В дальнейшем рассматривается случай с одним основным стабилизируемым показателем. Этим показателем для ОАО "Дальполиметалл" является содержание свинца в руде, поступающей на переработку.

2. Выбирается основной технологический показатель обогащения руды. В данном случае это извлечение основного металла в концентрат при обогащении.

3. Устанавливается зависимость извлечения основного контролируемого компонента в концентрат при обогащении от содержания его в рудах, поступающих на переработку ($E_o=f(a)$). Зависимость устанавливается на основе технологических показателей работы обогатительной фабрики за определенный отчетный период.

Для условий ОАО «Дальполиметалл» такая зависимость имеет вид:

$$E_o = B_o + B_1 a + B_2 a^2 \quad (11)$$

4. Приравнявая первую производную функции полученной зависимости ($E_o = f(a)$), к нулю, определяем оптимальное значение содержания основного компонента в руде (a_{opt}).

$$E'_o = 0 \text{ — точка экстремума (2.3.12) } E_o \quad (12)$$

в таком случае имеем

$$E'_o = B_1 a + 2B_2 a = 0 \quad (13)$$

отсюда

$$a_{opt} = \frac{B_1}{2 \cdot B_2}, \text{ доли ед} \quad (14)$$

За значение a_{opt} принимаем среднее (\bar{a}). Это объясняется тем, что обогатительный процесс должен настраиваться на реально существующее качество руд в массиве с учетом потерь и разубоживания их при добыче.

5. Определяем максимальное значение извлечения (E_{opt}) основного компонента в концентрат от содержания его в рудах, поступивших на переработку путем подстановки результата (a_{opt}) уравнения 14 в уравнение 11.

6. Путем обработки статистической информации работы фабрики устанавливаем основные моменты распределения содержания металла в руде с целью выяснения характера распределения (уравнения 1—3) и коэффициент вариации содержания основного компонента в руде (V_a), уравнение 7.

7. Стоимость основного компонента в концентрате (E_o) и себестоимость добычи и переработки руды ($C_{д.п}$) принимается по данным рассматриваемого предприятия.

8. Экономические последствия от поставок на фабрику руды неста-

бильного качества, складывающиеся из ушерба от потерь металла при обогащении и удельных затрат на добычу и переработку дополнительного объема руды в количестве, необходимом для выполнения плана фабрики по металлу, устанавливаются по формуле 10.

Рассмотрим пример. Свинцово-цинковым рудам, со средним условным содержанием свинца в руде $\bar{a}=3,18$ %, соответствует оптимальный (максимальный) коэффициент извлечения металла в концентрат при обогащении $E_{\text{опт}}=96,4$ %. Коэффициент вариации (V_a) колебания свинца в руде, поступившей на переработку в течение суток составил 32 %. Стоимость основного металла в концентрате (C_0) условно принимается равно 50000 р/т металла в кон-

центрате. Себестоимость добычи и переработки руды $C_{\text{д.п}} = 1000$ р/т. Содержание условного металла в концентрате и хвостах обогащения постоянно и равно соответственно 75,0 и 0,15 %. Подставляя развернутое значение величины снижения извлечения основного условного стабилизируемого компонента при обогащении (ΔE), полученное по формулам 4—9, в формулу 10, получим величину экономических последствий от поставки на обогатительную фабрику руды нестабильного качества с коэффициентом вариации колебания свинца в руде $V_a=32$ %.

$$\Pi_{\text{н.к}} = \frac{\beta_0 \theta V_a^2 (C_0 \bar{a} \cdot E_{\text{опт}} + C_{q.n})}{(\beta_0 - \theta) \alpha \alpha E_{\text{опт}}}, \text{ р/т металла в концентрате, или}$$

$$\Pi_{\text{н.к}} = \frac{0,75 \cdot 0,0015 \cdot 0,1024(50000 \cdot 0,0318 \cdot 0,964 + 1000)}{(0,75 - 0,0015)0,0318 \cdot 0,0318 \cdot 0,964} = 399,87 \text{ ,р/т металла в}$$

концентрате.

Таким образом:

1. Природные качественные характеристики добываемой руды оказывают определенное влияние на колебания качества в руде, поступающей на переработку, которые, в свою очередь, ухудшают технико-экономические показатели обогатительной фабрики.

2. За основной стабилизируемый показатель в полиметаллических рудах Дальнегорского месторождения можно принимать содержание свинца в руде, поступающей на переработку. Колебания содержания свинца в рудном массиве характеризуются коэффициентом вариации колебания свинца в руде (V_a), в рудопотоке среднеквадратичным отклонением содержания свинца (σ_a) от среднего содержания свинца в руде

(\bar{a}), поступающей на переработку, за контролируемый период времени.

Исследованиями установлены законы и параметры распределения содержания основного стабилизируемого показателя в массиве и рудах, поступающих на переработку, что позволит в дальнейшем использовать это для математического моделирования при установлении стабильности качества руды подземной добычи.

3. Поставки на обогатительную фабрику руды нестабильного качества приводят к потерям металла при переработке, которые при достаточно высоком уровне цен на продукцию цветной металлургии имеют немаловажное значение.

4. Помимо ущерба от потерь металла при установлении экономических последствий от поставок на обоганительную фабрику руды нестабильного качества необходимо учи-

тывать удельные затраты на добычу и переработку дополнительного объема руды в количестве, необходимом для компенсации недополученного металла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агошков М.И., Козаков Е.М. О критериях эффективности при решении горно-экономических задач// Горный ж. 1977. № 1. С. 31—33.

2. Каплунов Д.Р., Манилов И.А. Стабилизация качества руды при подземной добыче. М.: Недра, 1983. 236 с.

3. Ломоносов Г.Г. Формирование качества руды при открытой добыче. – М.: Недра, 1975. 224 с.

4. Бастан П.П., Болосин Н.Н. Усреднение руд на горно-обоганительных предприятиях. М.: Недра, 1981. 280 с. 5. Грачев Ф.Г. Управление качеством сырья на горнорудных предприятиях. – М.: Недра, 1977. 208 с.

6. Андреев А.В. Установление областей стабильного качества руд// Основные вопросы разработки и обогащения твердых полезных ископаемых. М.: ИПКОН АН СССР, 1986. С. 36—40.

7. Андреев А.В. Управление качеством руды с учетом степени концентрации горных работ на примере п/о «Дальполиметалл» Методические рекомендации, Владивосток, ДВО АН СССР, 1988, 15 с.

8. Андреев А.В. Современное состояние и проблемы обогащения полезных ископаемых Дальневосточного региона Материалы международного совещания «Плаксинские чтения 2008», Владивосток 16—21 сентября 2008 г. С. 20—23.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Андреев А.В. — кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе Горного института Дальневосточного государственного технического университета e-mail: aandreevmining@mail.ru.



ПОДПИСКА - 2013 НА ГОРНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ (НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ) (ГИАБ) MINING INFORMATIONAL AND ANALYTICAL BULLETIN (SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL) (GIAB)

Все направления горных наук, теория и практика горных работ – в одном журнале!

Периодичность издания – 12 номеров в год. Объем номера 432 страницы.

ГИАБ выпускается в книжном формате, в твердом переплете, на мелованной бумаге.

Стоимость годовой подписки – 10740 рублей.

Подписной индекс в каталоге Агентства «Роспечать» – 46466.

Возможны любые формы оплаты по реквизитам:

ЗАО «Горная книга», 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 6, тел.: (499) 230-27-80,

факс (495) 737-32-65, ИНН 7706700864, КПП 770601001, БИК 044525225,

Московский банк ОАО Сбербанка России, ОАО Сбербанк России, г. Москва,

р/сч. № 40702810438110011545, корр. сч.3010181040000000225.

Подписка на ГИАБ-2013.

Пожалуйста, не забудьте указать свой почтовый адрес для отправки журналов.

По вопросам подписки, получения экземпляров ГИАБ, комплектов отдельных выпусков ГИАБ и их издания позвоните по телефонам: (495) 230-27-80, (495) 737-32-65, передайте запрос по факсу (495) 956-90-40 или по e-mail: info@gomaya-kniga.ru.