Записки Санкт-Петербургского горного института.
Т. 132, с.16, 1992

Е.И.АЗБЕЛЬ, Б.З.БЕЗМОЗГИН,
Л.М.СОСИНСКИЙ, Л.Г.ТУРОВСКАЯ

МЕТОД РАСЧЕТА КАЧЕСТВА ОСТАТКОВ БОКСИТА НА РУДНОМ СКЛАДЕ

Совершенствование методов учета и контроля качества добываемого сырья – проблема весьма актуальная, ибо отсутствие эффективных методов расчета приводит к значительным систематическим ошибкам при планировании объемов и качества добычи.

Согласно технологической схеме, принятой на ПО "Севуралбокситруда" (СУБР), из шахт в течение месяца на шахтные склады подается руда, которая затем железнодорожными составами транспортируется на усреднительный склад. К концу месяца на шахтных складах сохраняются некоторые остатки руды, которые будут отгружены уже в следующем месяце. Для целей учета и планирования необходимо определить содержание контролируемых компонентов в этих остатках. К таким компонентам относятся Al_2O_3, SiO_2, CO_2, S, H_2O. Ввиду идентичности расчетов изложение для краткости будет вестись для одного компонента, который назовем компонентом K.

Введем следующие обозначения: $Д_i$ – добыча руды в i-м месяце, $i=\overline{1,n}$; O_i – отгрузка руды из шахтного склада в i-м месяце; Δi – остаток руды на складе в конце i-го месяца; β_i, α_i и γ_i – содержание компонента K в добыче $Д_i$, отгрузке O_i и в остатке Δ_i.

Для указанных величин могут быть составлены следующие балансовые уравнения по руде и компоненту K соответственно

$$\Delta_{i-1} + Д_i = O_i + \Delta_i, \quad i=\overline{1,n}; \tag{1}$$

$$\gamma_{i-1}\Delta_{i-1} + \beta_i Д_i = \alpha_i O_i + \gamma_i \Delta_i, \quad i=\overline{1,n}. \tag{2}$$

Из этих уравнений необходимо определить значения γ_i. Отгрузка O_i определяется путем взвешивания соответствующих транспортных единиц с рудой, а добыча $Д_i$ – путем подсчета груженых скипов и по маркшейдерским замерам. Если известен остаток руды на складе на начало периода Δ_0, то значения Δ_i легко определяются из уравнений (1). Значения α_i устанавливают по данным химических анализов, которые берутся из каждого отгружаемого состава. Кроме того, можно считать, что содержание компонента K в остатке на начало периода γ_0 определено на предыдущем этапе расчетов.

Таким образом, для определения значений содержания компонента К в остатках имеем n уравнений типа (2) с $2n$ неизвестными, поскольку неизвестны не только γ_i, но и ρ_i – месячные содержания компонента К в добыче. Для того, чтобы можно было однозначно прогнозировать на начало каждого месяца значения γ_i и ρ_i по данным за прошедшие месяцы, необходимо на переменные γ_i и ρ_i наложить n дополнительных связей. В этом случае число неизвестных станет равным числу уравнений.

Можно предложить следующие модели формирования качества бокситa в остатках и соответствующие им методы прогноза.

М о д е л ь А. Поскольку остатки малы по сравнению с добычей и отгрузкой (приблизительно 10 % от добычи), то можно предположить, что содержание компонента К в добыче и отгрузке совпадают, т.е. $\rho_i = \alpha_i$.

Из уравнений (2)

$$\gamma_i = \frac{\Delta_{i-1}}{\Delta_i}\gamma_{i-1} + \frac{\rho_i Д_i - \alpha_i 0_i}{\Delta_i}. \qquad (3)$$

Так как $\rho_i = \alpha_i$ и $Д_i - 0_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$, то из выражений (3) путем последовательной подстановки можно получить

$$\gamma_i = \frac{\Delta_0}{\Delta_i}\gamma_0 + \frac{\Delta_1 - \Delta_0}{\Delta_i}\alpha_1 + \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\Delta_i}\alpha_2 + \ldots + \frac{\Delta_i - \Delta_{i-1}}{\Delta_i}\alpha_i \qquad (4)$$

М о д е л ь Б. Этот подход к прогнозированию предполагает, что качество отгруженной за месяц руды можно распространить на качество рудных остатков, т.е. $\gamma_i = \alpha_i$. Поскольку для сравнения надежности методов следует проверить не только γ_i, но и ρ_i, вычислим их из уравнений (1) и (2):

$$\rho_i = \alpha_i + \frac{(\alpha_i - \alpha_{i-1})\Delta_{i-1}}{Д_i}.$$

М о д е л ь В. Так как остаток на конец месяца является частью добычи за этот месяц, то модель предполагает, что качество в добыче и остатке совпадают, т.е. $\rho_i = \gamma_i$.

Для этого случая, учитывая, что $Д_i - \Delta_i = 0_i - \Delta_{i-1}$, и используя уравнение (2), имеем

$$\gamma_i = -\frac{\Delta_{i-1}}{0_i - \Delta_{i-1}}\gamma_{i-1} + \frac{\alpha_i 0_i}{0_i - \Delta_{i-1}}.$$

Отбор методов прогноза для практического использования целесообразно осуществлять с помощью специальных тестов. Тесты обладают тем свойством, что положительный результат их проверки повышает уверенность в достоверности метода. В то же время отрицательный результат однозначно говорит о том, что метод прогноза неприемлем. В качестве таких тестов могут выступать ос-

тественные свойства, которым должны удовлетворять значения α_i, β_i и γ_i. Проверка этих свойств может осуществляться как в общем случае (что необходимо для подтверждения достоверности метода прогноза), так и на характерных примерах (что достаточно для того, чтобы метод отвергнуть).

Для проверки метода А положим, что $\Delta_n = \Delta_{n-1} = \ldots = \Delta_1 = \Delta_0 = \Delta$. Из формулы (4) легко видеть, что в этом частном случае $\gamma_n = \gamma_{n-1} = \ldots = \gamma_1 = \gamma_0$, т.е. содержание компонента К в остатке руды не зависит от качества отгружаемой руды и руды, поступающей из шахты, а определяется только начальным значением γ_0 и не меняется с течением времени, что явно противоречит здравому смыслу. Таким образом, приведенный тест показывает неприменимость метода А.

Для проверки остальных методов и для их сравнения с методом А целесообразно использовать следующие тесты:

1. Содержание компонента К в месячной добыче мало отличается от его содержания в месячной отгрузке, т.е. $\alpha_i \approx \beta_i$.

Проверку близости α_i к β_i можно осуществлять с помощью критерия $R_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\alpha_i - \beta_i)^2 / n}$.

2. Среднее содержание компонента К в добыче за длительный промежуток времени близко к среднему содержанию этого компонента в отгружаемой руде, что оценивается критерием $R_2 = |\bar{\beta} - \bar{\alpha}|$ (здесь $\bar{\beta}$ и $\bar{\alpha}$ – средние содержания компонента К в добыче и отгрузке).

3. Аналогичное свойство справедливо для среднего содержания компонента К в месячных остатках. Здесь используется критерий $R_3 = |\bar{\gamma} - \bar{\alpha}|$, где $\bar{\gamma}$ – среднее содержание компонента К в остатке на шахтном складе.

Средние содержания компонента К в добыче, отгрузке и остатке соответственно

$$\bar{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \beta_i Д_i}{\sum_{i=1}^{n} Д_i}; \quad \bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i О_i}{\sum_{i=1}^{n} О_i}; \quad \bar{\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \gamma_i \Delta_i}{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i}$$

Чтобы можно было сравнивать значения критериев R_1, R_2, R_3 для различных контролируемых компонентов, целесообразно перейти к расчету тех же критериев в относительной форме и в процентах:

$$R_{отн1} = \frac{R_1}{\bar{\alpha}} 100; \quad R_{отн2} = \frac{R_2}{\bar{\alpha}} 100; \quad R_{отн3} = \frac{R_3}{\bar{\alpha}} 100.$$

Сравнение различных методов прогнозирования было выполнено по фактическим данным за 30 месяцев 1988–1990 гг., полученным на СУБРе (см. таблицу).

Данные таблицы подтверждают непригодность использования в целях прогнозирования модели А. Модели Б и В практически почти равноценны, но все-таки несколько меньшие значения критериев дает модель В.

Рассмотренные методы прогноза основаны на использовании информации, характеризующей значения α_i и $О_i$ в месячных объемах. Можно предложить

Относительные ошибки различных методов прогноза, %

Модель	Критерий	Компонент				
		Al_2O_3	SiO_2	CO_2	S	H_2O
А	$R_{отн\,1}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$R_{отн\,2}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$R_{отн\,3}$	2,66	35,20	36,89	25,87	20,36
Б	$R_{отн\,1}$	0,07	0,89	0,73	0,91	0,41
	$R_{отн\,2}$	0,07	0,53	0,30	1,30	0,34
	$R_{отн\,3}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
В	$R_{отн\,1}$	0,09	1,01	0,94	1,30	0,51
	$R_{отн\,2}$	0,00	0,00	0,30	1,30	0,11
	$R_{отн\,3}$	0,06	0,53	0,30	2,60	0,22

оптимальный метод прогноза, который основывается на использовании значений содержания компонента для k порций, соответствующих массе остатков Δ_i.

Алгоритм предлагаемого метода состоит в следующем:

1. Определить значение Δ_i для рассматриваемого месяца.

2. Найти K, такое, чтобы месячная отгрузка $O_i \approx k\Delta_i$

3. Для последовательных порций руды с номерами $l = \overline{1,k}$ вычислить α_{il} – содержание компонента K в l-й порции. Определение α_{il} выполняется по результатам опробования составов с рудой, поступающей от конкретной шахты.

4. Рассчитать γ_i как линейную комбинацию α_{il}

$$\gamma_i = \sum_{l=1}^{k} a_l \alpha_{il},$$

где a_l – коэффициент, вычисляемый методом наименьших квадратов из условия минимизации дисперсии ошибки прогноза: $D\left\{\gamma_i - \gamma_i^{\Phi}\right\} \to min$; γ_i^{Φ} и γ_i – фактическое и прогнозируемое значение компонента K в остатке за i-й месяц.

Преимуществом предложенного оптимального метода прогноза является не только получение более точной оценки качества бокситa в остатках, но и возможность определения значения минимальной ошибки прогноза. Однако, в отличие от моделей Б и В, оптимальный метод прогноза может быть реализован лишь в составе автоматизированной системы управления качеством руд.