Записки Ленинградского горного института им.Г.В.Плеханова.
Т. 122. Л., 1990

Е.И.АЗБЕЛЬ, В.П.БУШЕВ, Л.М.СОСИНСКИЙ

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ БОКСИТОВЫХ РУД В ПРОЦЕССЕ СКЛАДИРОВАНИЯ

Эффективное управление качеством бокситовых руд является важным резервом повышения рентабельности производства в условиях хозрасчета. Используемый в ПО "Севуралбокситруда" (СУБР) метод управления качеством складируемых руд [I] имеет два существенных недостатка:

I) принятый для целей управления способ прогнозирования качества недостаточно надежен;

2) качественные характеристики руды, которые необходимо получить в штабеле, учитывают только требования технических условий, которые не отражают влияние колебаний качества руды на эффективность процесса ее переработки.

В настоящее время содержание контролируемых компонентов в очередном составе с рудой, поступающей из некоторой шахты на рудный склад, прогнозируется следующим образом. Считается, что это содержание совпадает с содержанием указанных компонентов в последнем опробованном составе, поступившем с той же шахты, причем из-за запаздывания результатов анализов этот состав не обязательно является непосредственно предшествующим для данного. Таким образом, существующий метод прогноза является ступенчатой экстраполяцией по одному результату опробования с запаздыванием на ℓ составов.

Если обозначить α и α^* - истинное содержание некоторого компонента A в текущем составе и оценку этого содержания на основе прогнозирования, α_t - известные значения содержания указанного компонента в предшествующих составах, то в принятом методе прогнозирования $\alpha^* = \alpha_t$, где t - номер состава, отсчитываемый от последнего состава, по которому известен анализ.

Можно показать [2], что при $\alpha^* = \alpha_t$ дисперсия ошибки прогноза имеет вид

$$D(\alpha - \alpha^*) = 2\sigma^2 [1 - k_\alpha(\ell)],$$

где σ^2 - дисперсия содержания компонента A в отдельных составах; $k_\alpha(\ell)$ - значения нормированной корреляционной функции содержания в точке запаздывания ℓ.

Проведенные в Ленинградском горном институте исследования показывают, что при использовании описанного метода прогнозирования дисперсия ошибки прогноза при $\ell = I$ примерно равна исходной дисперсии σ^2. При росте ℓ

ошибка прогноза начинает быстро расти и дисперсия этой ошибки быстро приближается к своему предельному значению, равному $2\sigma^2$.

Поэтому используемый метод может привести к значительным погрешностям для компонентов, имеющих большую изменчивость. В результате процесс управления формированием штабелей может приобрести неустойчивый характер, что приведет к неоправданному затягиванию формирования штабелей.

В качестве более надежного метода прогноза предлагается использовать метод оптимальной линейной статистической фильтрации, при котором оценка α^* ищется в виде

$$\alpha^* = \sum_{t=1}^{T} a_t (\alpha_t - \bar{\alpha}), \qquad (I)$$

где $\bar{\alpha}$ - среднее значение содержания компонента A за длительный период наблюдений, примыкающий к моменту прогнозирования; T - число точек, используемых для прогноза; a_t - весовые коэффициенты, определяемые из решения системы уравнений

$$\sum_{t=1}^{T} a_t \, k_\alpha(t-\tau) = k_\alpha(T+\ell-\tau), \quad \tau = 1, \ldots, T$$

Анализ фактических данных показал, что использование этого метода прогнозирования дает ошибку, примерно вдвое меньшую, чем существующий метод. Кроме того, установлено, что прогнозирование достаточно вести по пяти составам, так как при $T > 5$ ошибка прогноза почти не уменьшается с увеличением T.

В ряде работ (например, [4]) показана возможность эффективной переработки руды, поток которой формируется на основе динамического режима стабилизации качества. Особенностью такого режима является поддержание стабильных значений контролируемых компонентов в течение достаточно коротких промежутков времени. Проведенными в институте исследованиями показано, что в руде, поступающей с СУБРа на Богословский алюминиевый завод (БАЗ), достаточно поддерживать в определенных пределах содержание ряда компонент в течение 5–6 суток. Поток руды, поступающей на БАЗ, формируется путем отгрузки последовательных порций (составов) из рудного штабеля, причем емкость штабеля такова, что ее хватает для питания БАЗа в среднем в течение [illegible]. Поэтому при формировании штабеля следует учитывать данные о двух составах, отгрузка которых осуществляется непосредственно перед ним. Следует отметить, что здесь рассматривается задача загрузки штабеля, находящегося в завершающей стадии формирования (текущая масса штабеля более 10000 т). Для штабелей меньшей массы остаются в силе соображения, приведенные в статье [I].

формализации задачи формирования штабеля необходимо прежде всего определить границы содержания отдельных компонентов в руде формируемого штабеля. Если обозначить α_{ik} - содержание i-го компонента (i = I, 2,3,4) в руде k-го сформированного штабеля (k = I,2); Δ_i - ширину

допустимого интервала для i-го компонента; $\underline{b}_i$ и $\bar{b}_i$ – границы для содержания i-го компонента, определяемые техническими условиями, то содержание i-го компонента в формируемом штабеле y_i должно удовлетворять следующим ограничениям:

$$\underline{b}_i \leq y_i \leq \bar{b}_i, \qquad i = 1, 2, 3, 4; \tag{2}$$

$$max(y_i, \alpha_{i1}, \alpha_{i2}) - min(y_i, \alpha_{i1}, \alpha_{i2}) \leq \Delta_i, \quad i=1,\dots,4, \tag{3}$$

где $\Delta_i = p\sigma_i$; p – коэффициент внутрипериодной стабилизации; σ_i – стандартное отклонение i-го компонента в потоке руды, поступающей в байеровский процесс.

Введем также обозначения: M и α_i – количество руды в формируемом штабеле и содержание в нем i-го компонента; α_i^j – прогнозируемое содержание i-го компонента в руде, поступающей из j-й шахты[x]; $j = 1,\dots,m$; x^j – количество составов из j-й шахты, используемых для формирования штабеля; $\underline{Q}$ и $\bar{Q}$ – границы емкости штабеля; q^j – определяемое технологом максимальное количество составов, которые можно вывезти за время, необходимое для формирования штабеля.

Значения переменных x^j и y_i должны удовлетворять следующим очевидным ограничениям:

1) содержание i-го компонента в сформированном штабеле

$$y_i = \frac{\alpha_i M + \sum_{j=1}^{m} \alpha_i^j x^j}{M + \sum_{j=1}^{m} x^j}; \tag{4}$$

2) количество руды в сформированном штабеле должно лежать в заданных пределах, т.е.

$$\underline{Q} \leq M + \sum_{j=1}^{m} x^j \leq \bar{Q}; \tag{5}$$

3) из j-й шахты не может быть отправлено более q^j составов с рудой, т.е.

$$0 \leq x^j \leq q^j, \qquad j = 1, \quad , m \tag{6}$$

Самостоятельный интерес представляет вопрос выбора критерия оптимальности для задачи (2)–(6). Здесь можно предложить, например, минимизацию объема штабеля

$$\sum_{j=1}^{m} x^j \longrightarrow min \tag{7}$$

---

[x] Прогноз можно получить методом оптимальной линейной фильтрации, используя формулу (1).

или минимизацию колебаний качества в группе последовательных штабелей

$$\max \frac{\max(y_i, \alpha_{i1}, \alpha_{i2}) - \min(y_i, \alpha_{i1}, \alpha_{i2})}{\Delta_i} \longrightarrow \min \qquad (8)$$

Возможны и другие варианты формулировки критерия качества. Можно, например, минимизировать среднеквадратический разброс качества. Возможен также поиск компромиссного решения с "хорошими" значениями критериев (7) (8). В любом случае задача (2)–(7) или (2)–(8) является задачей целочисленного программирования. Для ее решения может быть использован, например, метод ветвей и границ [3]. Возможен также подход к рассматриваемой задаче как к задаче динамического программирования и использование для ее решения приближенного метода [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Б у ш е в В.П. Особенности управления качеством руды на многоштабельном шихтовальном складе // Зап. ЛГИ. 1989. Т. 120.

2. К а з а к е в и ч Д.И. Основы теории случайных функций и ее применение в гидрометеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1971.

3. К о р б у т А.А., Ф и н к е л ь ш т е й н Ю.Ю. Дискретное программирование. Наука, 1969.

4. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке / В.И.Ревнивцев, Е.И.Азбель, Е.Г.Баранов и др. М.: Недра, 1987.

5. С о с и н с к и й Л.М. О приближенном решении многошаговых задач большой размерности // Численные методы в краевых задачах математической физики: Межвуз. темат. сборник трудов / Ленинградский инженерно-строительный ин-т. Л., 1985.