Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1987, т. 114

УДК 622.7:658.5-52

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ НА ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Е.И.АЗБЕЛЬ, Л.Г.ВАСИЛЬЕВА

Как известно, при обогащении сырья нестабильного качественного состава возникают потери, характеризующиеся снижением извлечения полезных компонентов, ухудшением качества концентратов, увеличением расхода реагентов, уменьшением производительности оборудования (в дальнейшем под термином потери будем подразумевать потери от переработки сырья нестабильного качественного состава). В результате недостаточно эффективно используются как минеральные, так и производственные ресурсы горно-обогатительных предприятий. Аналогичные потери имеют место также и в ряде технологических процессов металлургического производства, в частности, в процессах спекания шихты.

В последние годы начинают интенсивно внедряться системы стабилизации качества сырья, целью которых является компенсация потерь, возникающих при переработке сырья неоднородного качественного состава. Одним из важнейших моментов, связанных с внедрением таких систем, является определение их эффективности.

При оценке качества стабилизируемого сырья наряду со средними значениями $\bar{X}_i$ отдельных показателей X_i, $i = 1,2,\ldots,n$ (содержание полезных и вредных компонентов, гранулометрический и минералогический состав, текстурные и структурные свойства) учитывают их изменчивость. Изменчивость компонента X_i в перерабатываемом потоке руды характеризуется дисперсией $D(x_i)$ и корреляционной функцией $K_{x_i}(\tau)$ (или спектральной плотностью, или структурной функцией, которые в настоящей работе не рассматриваются). Показатель $D(x_i)$ характеризует степень рассеяния компонентов вокруг среднего, а показатель $K_{x_i}(\tau)$ – рассеяние и динамику изменчивости компонентов X_i во времени как случайных процессов $X_i(t)$.

Представляет интерес получение теоретических оценок эффективности стабилизации качества в обогащении. В работе [2] были получены результаты для двумерного случая (учитывается один компонент качественного состава и одно управляющее воздействие y) при дискретном управлении процессом с периодом T. Рассмотрим общий случай.

Пусть задан некоторый критерий оптимизации процесса обогащения $\Pi(x,y)$, например, извлечение, который зависит от $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ – вектора значений показателей качества руды и $y = (y_1, y_2, \ldots, y_n)$ – вектора значений управляющих воздействий.

Осуществляется кусочно-постоянное управление $y_r(t)$ процессом со скачками в моменты времени rT, $r = 1,2,3,\ldots$, т.е. $y_r(t) = y_r$ при $rT \le t < (r+1)T$. Управление $y_r(t)$ обеспечивает максимум значения критерия Π в эти моменты времени, т.е.

$$\Pi\left(x(rT), y_r\right) = \max_{y} \Pi\left(x(rT), y\right).$$

Таким образом, $y_r = y_{опт}\left[x(rT)\right]$.

Введем соответствующие обозначения для случая идеально усредненного сырья: $\bar{y} = y_{опт}(\bar{x})$ и $\bar{\Pi} = \Pi(\bar{x}, \bar{y})$ - рассмотрим отклонение, которое характеризует среднюю величину потерь при дискретном управлении,

$$\Delta\Pi = M\left\{\overline{\Pi\left(X(t), Y_r(t)\right) - \bar{\Pi}}\right\},$$

где M - символ операции математического ожидания;

$$\overline{\Pi\left(X(t), Y_r(t)\right) - \bar{\Pi}} = \frac{1}{T}\int_{rT}^{(r+1)T}\left[\Pi\left(X(t), Y_r(t)\right) - \bar{\Pi}\right]dt.$$

Можно показать, что если $Y(X)$ - линейная функция (Y и X понимаются как вектора), то

$$\Delta\Pi = \frac{1}{2}\sum_{i,k=1}^{n}\left(\frac{\partial^2\Pi}{\partial x_i \partial x_k} + \sum_{j,l=1}^{m}\frac{\partial^2\Pi}{\partial y_j \partial y_l}\frac{dy_j}{dx_i}\frac{dy_l}{dx_k}\right)M_{ik}(0) +$$

$$+\sum_{i,k=1}^{n}\left(\frac{1}{4}\sum_{j=1}^{m}\frac{\partial^2\Pi}{\partial x_i \partial y_j}\frac{dy_j}{dx_k}\right)\bar{M}_{ik}, \qquad (1)$$

где $M_{ik}(0)$ - корреляционный момент компонентов X_i и X_k качественного состава, причем $M_{ik}(0) = D(x_i)$ - дисперсия компонента x_i,

$$\bar{M}_{ik} = \frac{1}{T}\int_0^T M_{ik}(\tau)\,d\tau, \qquad (2)$$

где $M_{ik}(\tau)$ - взаимная корреляционная функция случайных процессов $X_i(t)$ и $X_k(t)$, причем $M_{ik}(\tau)$ представляет собой корреляционную функцию $K_{X_i}(\tau)$ процесса $X_i(t)$.

Можно показать, что из формулы (1) при $n = 1$ и $m = 1$ следует результат, полученный в статье [2] для двумерной модели управления.

Формулу (1) можно записать более компактно:

$$\Delta\Pi = \underbrace{\sum_{i,k=1}^{n} a_{ik} M_{ik}(0)}_{\Delta\Pi_c} + \underbrace{\sum_{i,k=1}^{n} b_{ik}\bar{M}_{ik}}_{\Delta\Pi_д}, \qquad (3)$$

где a_{ik} и b_{ik} - параметры, учитывающие свойства объекта управления.

Анализ формулы (3) показывает, что потери состоят из двух слагаемых, значения которых соответственно пропорциональны $M_{ik}(0)$ и $\bar{M}_{ik}$, отражающим соответственно статические и динамические свойства изменчивости отдельных компонентов x_i и взаимные статические и динамические свойства компонентов x_i и $x_k (i \neq k)$. Поэтому первое слагаемое $\Delta\Pi_c$ в уравнении (3) характеризует статические потери, а второе $\Delta\Pi_д$ - динамические.

Известно, что при стабилизации качества сырья $M_{ii}(0)$ и $\bar{M}_{ii}$ уменьшаются. В общем случае при $i \neq k$ $M_{ik}(0)$ и $\bar{M}_{ik}$ ведут себя более сложным образом [3]. Однако, не внося существенной погрешности, можно считать, что при $i \neq k$

$$M_{ik}(0) \approx c_{ik} \sqrt{M_{ik}(0) M_{kk}(0)}; \quad \bar{M}_{ik} \approx c'_{ik} \sqrt{M_{ik}(0) M_{kk}(0)},$$

где c_{ik} и c'_{ik} – некоторые константы.

Используя полученные соотношения, определим эффект от стабилизации качества сырья с точки зрения рассматриваемого технологического показателя П как разность между потерями $\Delta П_{исх}$ и $\Delta П_{стаб}$ соответственно в исходном процессе и после стабилизации:

$$Э_{стаб} = \Delta П_{исх} - \Delta П_{стаб} = \sum_{i,k=1}^{n} a_{ik} \Delta M_{ik}(0) + \sum_{i,k=1}^{n} b_{ik} \Delta \bar{M}_{ik}, \qquad (4)$$

где $\Delta M_{ik}(0)$ и $\Delta \bar{M}_{ik}$ – изменения показателей $M_{ik}(0)$ и $\bar{M}_{ik}$ при стабилизации.

Таким образом, общий эффект от компенсации потерь при стабилизации складывается из самостоятельных и взаимных эффектов, получаемых за счет компенсаций потерь от нестабильности отдельных компонентов качества руд.

При стабилизации (с учетом отмеченных ранее свойств показателей $M_{ik}(0)$ и $\bar{M}_{ik}$ $\Delta M_{ik}(0) < 0$ и $\Delta \bar{M}_{ik} < 0$. Поэтому общий эффект зависит от знаков параметров a_{ik} и b_{ik} в выражении (4). Отрицательные a_{ik} и b_{ik} соответствуют положительному эффекту, а положительные – отрицательному. Как правило, суммарный эффект является положительным. Однако возможны случаи, когда стабилизация качества приводит к отрицательным или противоречивым результатам [I]. Это прежде всего усреднение сырья несовместимых технологических типов или формальная стабилизация некоторых параметров питания обогатительных процессов.

В зависимости от специфики конкретных горно-обогатительных предприятий возможны различные соотношения между эффектами от компенсации статических и динамических потерь при стабилизации (см. таблицу). Анализ таблицы показывает, что во многих случаях динамический эффект является более существенным, чем статический. Этот результат установлен как расчетным путем, так и экспериментально, в частности на Каратауской, Балхашской, Шерловогорской и Ярославской обогатительных фабриках.

При глобальной стабилизации компенсируются и статические, и динамические потери. Однако динамическую стабилизацию, как правило, осуществить значительно проще, чем глобальную, например, с помощью многослоевых штабелей, многоячеечных бункеров или рудных силосов. Поэтому динамический режим стабилизации более перспективен.

Значительный технологический эффект от стабилизации качества при том же объеме переработки свидетельствует о том, что это мероприятие эффективно воздействует на технико-экономические показатели обогатительного передела и способствует более рациональному использованию минеральных ресурсов.

Эффективность стабилизации качества руды

Обогатительная фабрика	Перерабатываемые руды	Эффект		
		общий	статический	динамический
Тырныаузская	Вольфрамовые	5,1	1,6	3,5
Ярославская	Флюоритовые	6,3	0,8	5,5
Балхашская	Медные	0,6	-	0,6
Каратауская	Фосфоритовые	4,0	1,2	2,8
Шахтоминская	Молибденовые	1,5	0,2	1,3
Оленегорская	Железные	0,6	0,6	-
Кяхтинская	Флюоритовые	4,0	1,0	3,0
Шарловогорская	Оловянные	7,2	1,3	5,9

ЛИТЕРАТУРА

1. Азбель Е.И., Круглов А.А. Метод оценки динамических потерь при обогащении руд нестабильного качественного состава. – Комплексное использование минерального сырья. 1985. № 12.

2. Азбель Е.И., Круглов А.А. Эффективность усреднения при дискретных методах управления обогатительными процессами. – Комплексное использование минерального сырья. 1985. № 9.

3. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М., Мир, 1968.