Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
1989, т. 120

УДК 622.7:658.5-52

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА РУД ПЕРЕД ОБОГАЩЕНИЕМ

Е.И.АЗБЕЛЬ, И.А.КОСТЫЛЕВ,
А.А.КРУГЛОВ, Л.М.СОСИНСКИЙ

Как известно, эффективность обогащения существенно зависит от колебаний качественного состава обогащаемой руды во времени. Чем стабильнее содержание отдельных компонентов, тем выше показатели, характеризующие эффективность обогатительного процесса: извлечение полезных компонентов при постоянстве их содержания в концентрате, расход реагентов при флотации и т.д. При стабилизации качества руды важно знать, относительно каких средних значений следует стабилизировать содержание отдельных компонентов и на каком промежутке времени выдерживать эту стабилизацию. Здесь возможны два принципиально различных подхода:

I. Статический режим стабилизации. В этом случае содержание отдельных компонентов стабилизируется относительно плановых содержаний за длительный промежуток времени (месяц и более) и за тот же промежуток времени минимизируются колебания качества руды относительно указанных значений. Такой длительной стабилизации можно добиться на практике только за счет эксплуатации усреднительных складов, состоящих из многослойных штабелей дробленой руды очень большого объема.

2. Динамический режим стабилизации. В этом режиме стабильное содержание поддерживается в течение относительно коротких промежутков времени, например, нескольких смен. Эти промежутки называются периодами стабильности. Для соседних периодов средние содержания компонентов, относительно которых осуществляется стабилизация, могут существенно отличаться. Поддержание динамических режимов возможно при использовании складов существенно меньшего объема, а также за счет специального управления бункерами, которые эксплуатируются на обогатительных фабриках в качестве буферных емкостей, сглаживающих случайные колебания в производительности отдельных звеньев процесса добычи и обогащения руды.

Изучение статических режимов во многих случаях приводит к математическим моделям, допускающим исследование аналитическими методами. Изучение динамических режимов, как правило, связано с исследованием очень сложных моделей, для которых удается получить весьма ограниченные аналитичес-

кие результаты. Эффективным методом исследования сложных динамических процессов является метод имитационного моделирования.

Статья посвящена обоснованию организации динамических режимов работы системы складов, запроектированной для Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината (ТВМК). Предложенная модель позволит оценить эффективность использования системы штабелей, а также выбрать алгоритм управления процессами загрузки и разгрузки запроектированных усреднительных устройств с учетом переменной производительности подачи руды на склад, переменной производительности измельчительного комплекса и колебаний качественного состава руды.

Предварительно отметим, что для условий ТВМК доказана эффективность использования динамического режима стабилизации с периодом стабилизации 4-5 смен[x]. Поэтому алгоритм управления работой складов должен строится так, чтобы обеспечить стабилизацию качества в динамическом режиме. В соответствии с проектом на ТВМК предполагается внедрить посортовую переработку руды. Для каждого из трех различных сортов руды (биотитовые роговики, скарны, скарнированные мраморы) должен быть построен склад, состоящий из двух многослойных усреднительных штабелей. Скарнированные мраморы проходят обогащение в тяжелых суспензиях, смесь скарнов с тяжелой фракцией скарнированных мраморов и биотитовые роговики обогащаются раздельно. В принципе сортовая переработка руды возможна как в параллельном, так и в последовательном или комбинированном режимах. В первом случае обогатительная фабрика делится на секции, специализированные для переработки различных сортов руд, во втором вся фабрика перерабатывает руду одного сорта, а затем, по исчерпании разгружаемого штабеля, переходит к другому сорту. В комбинированном режиме либо 1-й сорт (биотитовые роговики) перерабатывается параллельно со 2-м (скарны) и 3-м (скарнированные мраморы) сортами, либо все секции фабрики перерабатывают только 2-й и 3-й сорта.

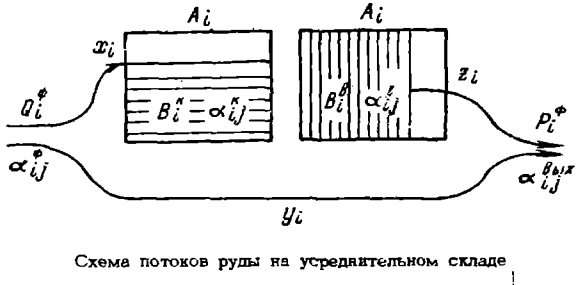


Схема потоков руды на усреднительном складе

Проектом предусмотрено моделирование параллельного режима переработки руды. Опишем модель работы одного склада (см. рисунок), который состоит из двух штабелей, один из которых находится в состоянии загрузки, а другой отгружается поперечными слоями. Поскольку заполнение штабеля осуществляется горизонтальными слоями на всю его длину, то начинать загрузку

---

[x] Азбель Е.И., Круглов А.А., Устинов И.Д. Особенности оптимизации обогатительных процессов при усреднении качественного состава входного потока руды // Изв.вузов. Цветная металлургия. 1988. № 1.

штабеля можно только после того, как он полностью отгружен. Алгоритм, моделирующий работу склада в течение одной смены, назовем

$$\text{Склад 1}\ \left(i, A_i, k_i, \ell_i, B_i^1, B_i^2, Q_i, Q_i^{\Phi}, P_i, P_i^{\Phi}, \alpha_{ij}^{\text{вх}}, \alpha_{ij}^1, \alpha_{ij}^2, \alpha_{ij}^{\text{вых}}\right),$$

где A_i – емкость штабеля i-го сорта ($i = \overline{1,3}$); B_i^m – количество руды i-го сорта в m-м штабеле ($m = \overline{1,2}$); ℓ_i и k_i – номера отгружаемого и загружаемого соответственно штабелей i-го сорта; Q_i и Q_i^{Φ} – допустимое и фактическое значения производительности рудника по руде i-го сорта; P_i и P_i^{Φ} – допустимое и фактическое значения сменной производительности обогатительной фабрики по переработке руды i-го сорта; $\alpha_{ij}^{\text{вх}}$ и α_{ij}^1 – содержание j-го компонента в сменной порции добытой руды i-го сорта и в I-м штабеле; α_{ij}^2 и $\alpha_{ij}^{\text{вых}}$ – содержание j-го компонента в руде 2-го штабеля и в руде, поступающей на переработку.

Параметры $A_i, Q_i, P_i, \alpha_{ij}^{\text{вх}}$ являются входными, параметры $Q_i^{\Phi}, P_i^{\Phi}, \alpha_{ij}^{\text{вых}}$ – выходными, а параметры $B_i^1, B_i^2, \alpha_{ij}^1, \alpha_{ij}^2$ – и выходными, и входными.

Допустимые варианты работы склада ограничиваются следующими неравенствами

$$x_i + y_i \le Q_i;$$
$$0 \le x_i \le A_i - B_i^k;$$
$$y_i + z_i \le P_i;$$
$$0 \le z_i \le B_i;$$
$$y_i \ge 0,$$

где x_i, y_i и z_i – количество руды, поступающей из входного потока на загружаемый склад, в выходной поток и из разгружаемого склада в выходной поток (см. рисунок).

Выбор решения этой системы неравенств определяет выбор алгоритма управления складом. Пусть G – область в пространстве переменных (x_i, y_i, z_i), определяемая этими неравенствами. Выбор оптимальной точки (x_i^0, y_i^0, z_i^0) подчинен следующей последовательности целей:

1) $z_i^0 = \max z_i$ при $(x_i, y_i, z_i) \in G$;

2) $y_i^0 = \max y_i$ при $(x_i, y_i, z_i^0) \in G$;

3) $x_i^0 = \max x_i$ при $(x_i, y_i^0, z_i^0) \in G$

Алгоритм СКЛАД1 примет вид: вычислить

$$z_i^0 = \min(P_i, B_i^{\ell}); \quad y_i^0 = \min(Q_i, P_i - z_i^0);$$
$$x_i^0 = \min(A_i - B_i^k, Q_i - y_i^0);$$
$$Q_i^{\Phi} = x_i^0 + y_i^0; \quad P_i^{\Phi} := y_i^0 + z_i^0;$$
$$\alpha_{ij}^k := \frac{\alpha_{ij}^k B_i^k + \alpha_{ij}^{\text{вх}} x_i^0}{B_i^k + x_i^0}; \quad \alpha_{ij}^{\text{вых}} := \frac{\alpha_{ij}^{\ell} z_i^0 + \alpha_{ij}^{\text{вх}} y_i^0}{B_i^k + y_i^0};$$
$$B_i^k := B_i^k + x_i^0; \quad B_i^{\ell} = B_i^{\ell} - z_i^0$$

Если $B_i^{\cdot} = 0$, то следует поменять назначение штабелей, т.е. $k := 3-k$, $\ell := 3-\ell$.

Моделирование работы одного склада в течение T смен заключается в T-кратном выполнении алгоритма СКЛАДI с различными значениями $Q_i, \alpha_{ij}^{вх}, P_i$, которые либо выбираются из последовательности наблюдений, либо генерируются как случайные числа с известным законом распределения. Значение P_i определяется количеством мельниц, выделенных для измельчения руды I-го сорта (M_1) или 2-го и 3-го сортов (M_2), а также средней производительностью мельниц, законом распределения потока неисправностей и временем ремонта мельницы. Выбор M_i существенно влияет на стабильность $\alpha_{ij}^{вых}$, поэтому этот параметр определяется в начале каждой смены. Выбор M_1 производится по условию

$$M_1 := \begin{cases} N_1, \text{ если } B_1^k + B_1^\ell > \gamma_1 A_1; \\ N_1 - R_1 \text{ в противном случае,} \end{cases}$$

где N_1 – число мельниц, выделенное на фабрике для переработки руды I-го сорта; R_1 – количество отключаемых мельниц; γ_1 – коэффициент запаса.

На основе алгоритма СКЛАДI легко сконструировать алгоритм, моделирующий работу системы из двух складов. Поток руды, поступающей на переработку, должен удовлетворять ограничению $P_3^{\Phi} \le \beta P_2^{\Phi}$, где β определяется на основании средней производительности рудника по руде каждого сорта; индексы соответствуют сорту перерабатываемой руды. Поскольку скарнированные мраморы проходят предварительное обогащение в тяжелых суспензиях, то необходимо учесть, что на совместную переработку поступает не исходная руда, а тяжелая фракция в меньшем количестве, но с более высоким содержанием полезных компонентов. Это можно учесть масштабированием $A_3, B_3, B_3^2, \alpha_{3j}^{вх}, Q_3$ и других величин.

Алгоритм моделирования совместной работы 2-го и 3-го складов имеет вид:

I. Задать начальное значение $k_i := 1$, $\ell_i := 2$, $B_i^1 := 0$, $B_i^2 := A_i$, $(i=2,3)$.

2. Повторить пп.3-5 заданное число раз (смен).

3. Определить число мельниц на смену

$$M_{23} = \begin{cases} N_{23} - R_{23}, \text{ если } B_2^\ell + B_2^k \le \gamma_2 A_2 \text{ или } B_3^\ell + B_3^k \le \gamma_3 A_3; \\ N_{23} \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

4. Определить $Q_i, \alpha_i^{вх}$, $(i=\overline{2,3})$, P_{23}.

5. Осуществить загрузку и совместную разгрузку 2-го и 3-го складов:

5.I. Если

$$B_2^\ell + Q_2 \ge \frac{P_{23}}{1+\beta},$$

то

$$P_3 := \frac{\beta P_{23}}{1+\beta}, \quad \text{СКЛАДI (3,...);}$$

$$P_2 = P_{23} - P_3^{\Phi}, \quad \text{СКЛАДІ } (2,\ldots);$$

иначе

$$P_2 = \frac{P_{23}}{1+\beta}, \quad \text{СКЛАДІ } (2,\ldots);$$

$$P_3 \quad \beta P_2^{\Phi}, \quad \text{СКЛАДІ } (3,\ldots).$$

В обращении к процедуре СКЛАДІ фактические параметры, указанные ранее, для краткости не приведены.

5.2. Вычислить

$$\alpha_{23}^{\text{вых}} := \frac{\alpha_2^{\text{вых}} P_2^{\Phi} + \alpha_3^{\text{вых}} P_3^{\Phi}}{\cdot P_2^{\Phi} + P_3^{\Phi}}$$

5.3. Напечатать результаты работы смены.

В соответствии с разработанными алгоритмами была составлена модель параллельной работы складов. В качестве контролируемых показателей качества руды было взято содержание двух основных компонентов: вольфрама и молибдена.

Моделирование на ЭВМ процессов формирования складов показало, что традиционный подход к управлению этим процессом, заключающийся в неконтролируемой погрузке штабелей, приводит к довольно быстрому (за несколько десятков смен) опустошению складов. После этого руду на обогащение, чтобы обеспечить плановую производительность, необходимо подавать напрямую, без усреднения. Этот эффект вызван тем, что потенциальная производительность измельчительного оборудования превышает проектную производительность рудника. Как показали эксперименты, использовать усреднительную способность складов можно за счет активного управления процессами складирования и измельчения руды. В качестве управляемых параметров было взято количество мельниц, выделенных для измельчения того или иного сорта руды. Отключение части мельниц в случае, если объем руды в некотором складе оказывается ниже определенного уровня, позволяет складу не опорожняться. Тем самым качество руды, подаваемой на обогащение стабилизируется, причем динамической стабилизации удается добиться даже при складах половинного объема. Если же сохранить запроектированный объем складов, то за счет этого можно получить фактически глобальную стабилизацию (на несколько десятков смен). Отключение части мельниц вызывает существенные колебания в сменных объемах руды, подаваемой на обогащение, что снижает эффективность обогатительного передела. Поскольку решение об отключении мельниц принимается заранее, то можно отключить и часть обогатительных аппаратов, чтобы стабилизировать производительность остальных. Возможен и другой алгоритм управления процессами складирования и переработки: если уровень руды на складе слишком низок, то полностью отключается процесс переработки руды, а если слишком высок, то отключается процесс добычи. Преимущество такого подхода заключается в автоматической стабилизации производительности обогащения.