

УДК 622.272.001.33

Х.Х. Кожиев**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕДКОНЦЕНТРАЦИИ РУДНОЙ МАССЫ**

Управление предконцентрацией состава рудной массы базируется на количественно-качественных взаимосвязях между массовыми долями руды (рудной массы), имеющих разный уровень показателя качества.

Ниже приняты следующие обозначения параметров рудной массы:

Q - общее количество рудной массы, которую предполагается подвергнуть предконцентрации, т; $\bar{\alpha}$ - среднее содержание в ней полезных компонентов (металла), %; M - количество (масса) металла в руде, т; n - количество долей (групп) рудной массы с разным уровнем содержания $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_i, \dots, \gamma_n$ - процентный выход соответствующих долей рудной массы, %; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_n$ - средние значения содержания полезных компонентов в долях (группах) рудной массы, %; $M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_n$ - количество (масса) полезных компонентов (металла) в долях руды, имеющих разное качество, %; $\gamma_{M1}, \gamma_{M2}, \dots, \gamma_{Mi}, \dots, \gamma_{Mn}$ - выход металла в долях рудной массы разного качества, %.

Между этими показателями существуют следующие основные взаимосвязи:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (1)$$

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^n \alpha_i Q_i / \sum_{i=1}^n Q_i, \%$$

$$\text{при } \alpha_i = (\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) / 2 \quad (2)$$

$$M = 0.01 \cdot \bar{\alpha} \cdot Q = 0.01 \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot Q_i = \sum_{i=1}^n M_i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 100\% \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \gamma_{Mi} = 100\% \quad (5)$$

$$\gamma_{Mi} = 100 M_i / M \quad (6)$$

Исходные данные для непосредственного имитирования процесса предконцентрации готовятся согласно этим зависимостям. Подготовка исходных данных начинается с измерений и опробования рудной массы, изучаемой на предмет повышения в ней концентрации металлов. По результатам этого изучения всё количество рудной массы классифицируется на несколько (n) долей, различающихся по уровню показателя качества. Внутри каждой доли необходимо установить среднее содержание полезного компонента α_i между максимальным и минимальным значениями и произвести ранжирование долей по уровню среднего содержания. При этом первая доля должна состоять из наиболее высококачественной руды, а последняя (n -я) – из самой богатой.

Для моделирования, наряду с абсолютным количеством металла в рудной массе (M, M_i), целесообразно использовать также и приведенные значения:

$$M_{пр} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \gamma_i \quad \text{и} \quad M_{при} = \alpha_i \cdot \gamma_i \quad (7)$$

Использование этого показателя позволяет оперировать не только конкретными, но и обобщёнными данными. При использовании приведенных значений массы металла моделирование несколько упрощается. Естественно, что конечные результаты моделирования при использо-

Таблица 1

№.№ п.п.	Показатель качества:			Кол-во горной массы	Выход долей рудной массы	Кол-во полезно- го ком- понента	Привед. масса по- лезного компонен- та	Выход по- лезного компонен- та в долях
	Min.	Max.	Средн.					
<i>I</i>	$\alpha_{1\min}$	$\alpha_{1\max}$	α_1	Q_1	γ_1	M_1	$\alpha_1\gamma_1$	γ_{M1}
...
<i>i</i>	$\alpha_{i\min}$	$\alpha_{i\max}$	α_i	Q_i	γ_i	M_i	$\alpha_i\gamma_i$	γ_{Mi}
...
<i>n</i>	$\alpha_{n\min}$	$\alpha_{n\max}$	α_n	Q_n	γ_n	M_n	$\alpha_n\gamma_n$	γ_n

вании в расчётах, как абсолютной массы металла, так и приведенного её значения должны быть идентичными и адекватными натуре.

Между абсолютным и приведенным значениями массы металла имеется следующая взаимосвязь:

$$\gamma_M = 100 \cdot M_i / M = 100 \cdot M_{\text{при}} / M_{\text{пр}} = 100 \cdot \alpha_i \cdot \gamma_i / \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \gamma_i \quad (8)$$

откуда

$$M = 100M_i / \gamma_i \quad (8)$$

Исходные данные для моделирования можно оформлять в виде таблицы (табл. 1) или графика, например, в форме гистограммы распределения показателя качества рудной массы.

Моделирование процесса предконцентрации заключается в установлении множества изменяющихся характеристик рудной массы при последовательном отделении от неё долей с худшими показателями качества. В целом модель представляет собой систему зависимостей, представленных в аналитическом и графическом видах, вместе с алгоритмом расчётов, реализуемых на компьютере. Всего моделируется (1, 2, ...j...m) этапов отделения от общего объёма рудной массы долей с более низким уровнем показателя качества. При этом номера этапов непосредственно моделирования процесса предконцен-

трации совпадают с номерами долей рудной массы, т.е. $I = j$.

Основными результатами каждого j -го этапа моделирования являются следующие показатели, определяемые по соответствующим зависимостям:

- количество предконцентрата, получаемого на каждом этапе

$$Q_{\text{пк}}^j = \sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{i=1}^{j-1} Q_i \quad (9)$$

- выход предконцентрата

$$\gamma_{\text{пк}}^j = 100 - \sum_{i=1}^{j-1} \gamma_i \quad (10)$$

- среднее содержание полезного компонента в предконцентрате

$$\bar{\alpha}_{\text{пк}}^j = (\sum_{i=1}^n \alpha_i Q_i - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i Q_i) / Q - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \quad (11)$$

где $Q = \sum_{i=1}^n Q_i$

- количество (масса) полезного компонента в предконцентрате

$$M_{\text{пк}}^j = M - \sum_{i=1}^{j-1} M_i \quad (12)$$

где $M = \sum_{i=1}^n M_i$

- выход полезного компонента в предконцентрат

$$\gamma_{\text{пк}}^j = 100 - \sum_{i=1}^{j-1} \gamma_{\text{пк}i} \quad (13)$$

- выход полезного компонента в отходах предконцентрации

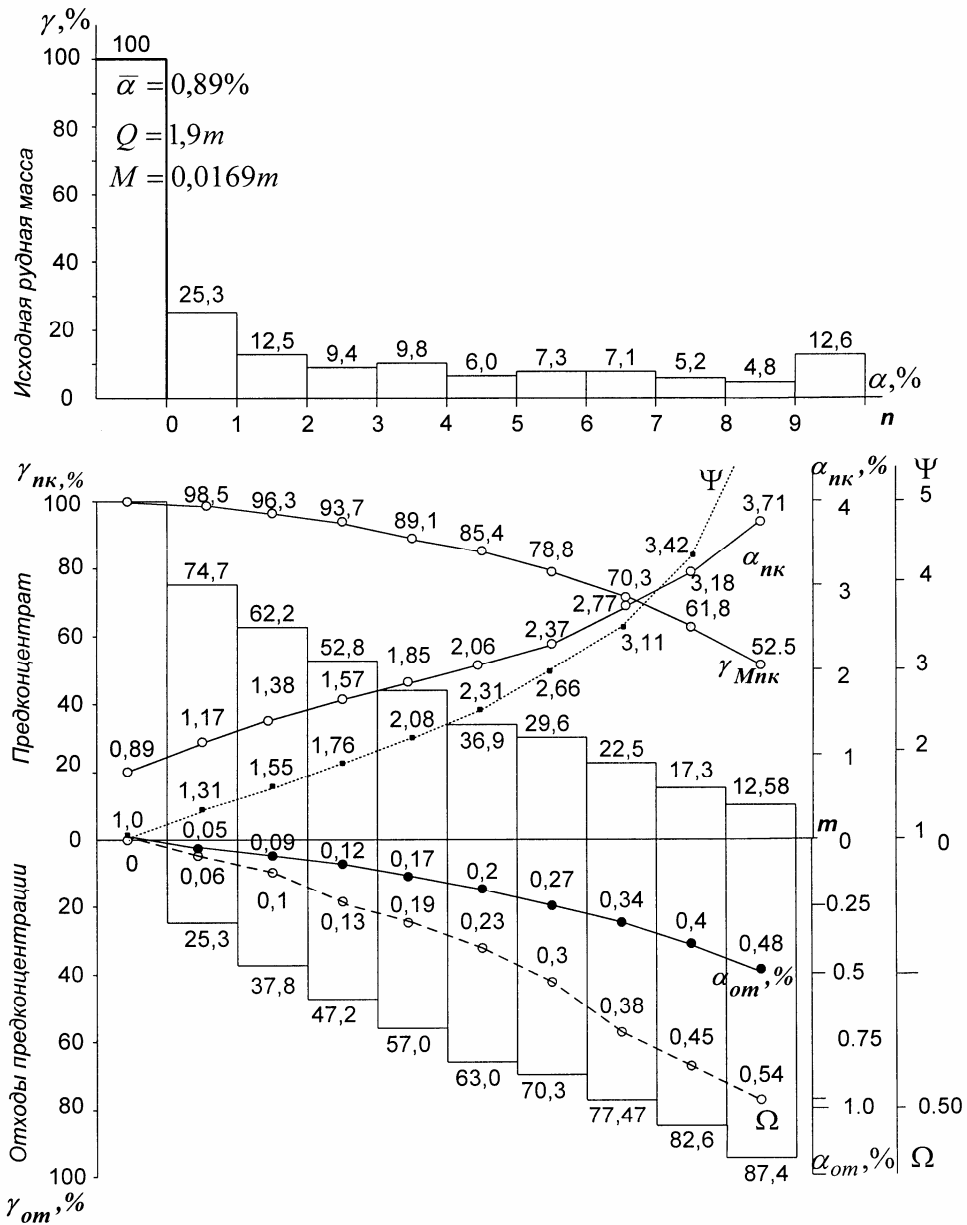


Рис. 1. Результаты численного моделирования

$$M_{от}^j = M - M_{пк}^j = M + \sum_{i=1}^{i=j} M_i = \sum_{i=1}^{i=j} M_i \quad (14)$$

- количество полезного компонента в отходах предконцентрации

$$\gamma_{\text{Мот}}^j = 100 - \gamma_{\text{МПК}}^j = \sum_{i=1}^{i=j} \gamma_{\text{МПК}i} \quad (15)$$

- среднее содержание полезного компонента в отходах

Таблица 4

№ пп	Предконцентрат					Отходы предконцентрации							
	$\gamma_{пк} \%$	$\alpha_{пк} \%$	$M_{пк} \text{ т}$	$\gamma_{Мпк} \%$	Ψ	δ	$\epsilon_{пк}$	$\gamma_{от} \%$	$\alpha_{от} \%$	Δ	$M_{от} \text{ т}$	$\gamma_{Мот} \%$	Ω
0	100	0.89	0.0169	100	1	0	1	0	0	0	0	0	0
1	74.70	1.17	0.0166	98.46	1.31	0.31	0.98	25.3	0.055	0.062	0.00026	1.54	0.062
2	62.19	1.38	0.0162	96.33	1.55	0.55	0.96	37.8	0.086	0.097	0.00062	3.67	0.097
3	52.80	1.57	0.0158	93.67	1.76	0.76	0.93	47.2	0.118	0.133	0.00107	6.33	0.133
4	42.96	1.85	0.0150	89.06	2.08	1.08	0.89	57.0	0.170	0.191	0.00185	10.94	0.191
5	36.93	2.06	0.0144	85.45	2.31	1.31	0.85	63.0	0.205	0.235	0.00246	14.55	0.235
6	29.66	2.37	0.0132	78.82	2.66	1.66	0.78	70.3	0.266	0.299	0.00358	21.18	0.299
7	22.53	2.77	0.0117	70.30	3.11	2.11	0.70	77.4	0.337	0.379	0.00502	29.70	0.379
8	17.30	3.04	0.0103	61.78	3.42	2.42	0.61	82.6	0.405	0.455	0.00646	38.22	0.455
9	12.58	3.71	0.0087	52.49	4.17	3.17	0.52	87.4	0.480	0.539	0.00803	47.51	0.539
10	0	0	0	0	∞	0	0	100	0.890	1	0.0169	100	1

$$\bar{\alpha}_{от}^j = (\sum_{i=1}^n \alpha_i Q_i - \sum_{i=j}^n \alpha_i Q_i) / (\sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{i=j}^n Q_i) \quad (16)$$

Для большей наглядности исходные данные о рудной массе удобно представить в виде графика, по горизонтали которого отмечаются m отрезков прямой одинаковой длины, отражающих этапы моделирования (от 1 до m), а по вертикальной шкале откладывается выход долей рудной массы γ_i (см. рисунок). По-существу график имеет форму двумерной диаграммы, в которую можно дополнительно внести и другие необходимые данные о рудной массе и её долях. По вертикали также отображаются средние содержания полезного компонента в долях рудной массы α_i .

Порядок расчётов при моделировании – от $j = 1$ до $j = m$. При этом этап $j = 0$ соответствует исходным условиям моделирования. Результаты этих расчётов вносятся в табл. 2, отражающую данные по поэтапному изменению характеристик предконцентрата и его отходов. В них, кроме значений показателей отмеченных выше, введены также: - коэффициент концентрации рудной массы Ψ ; - коэффициент прироста качества δ ; - извлечение полезного компонента в предконцентрат $\epsilon_{пк}$; - потери полезного компонента в отходах предконцентрации Ω ; - относительное содержание полезного компонента в отходах Δ .

Отметим, что выход металла $\gamma_{Мпк}$ и извлечение металла в предконцентрат $\epsilon_{пк}$, по существу, являются взаимозависимыми показателями. Одновременное использование обоих показателей в моделировании процесса предконцентрации оправдано тем, что позволяет обнаружить ошибки в расчётах. То же самое можно отметить и в отношении показателей выхода металла в отходы $\gamma_{Мот}$ и потерь металла Ω .

Пример: Из рудной массы в количестве 1,9 т, которую предполагается подвергнуть предконцентрации, взяты пробы. В результате анализа состава этих проб ус-

тановлено распределение содержания металла по отдельным долям общего количества рудной массы, рассчитана общая масса металла в руде и его выход в каждую долю. Результаты расчёта сведены в табл. 3 и на рисунке (см. верхнюю часть).

Далее производится процесс собственно моделирования. Поэтапные результаты расчёта параметров предконцентрации, выполняемые согласно выражениям (9–16), отображаются в средней и нижней частях графика. В средней его части приводятся поэтапные изменения показателей рудной массы при имитации реального процесса предконцентрации: выход предконцентрата, его качество, количество металла и его выход в предконцентрат. Соответственно, в нижней части графика отмечаются характеристики отходов предконцентрации: их процентный выход, содержание и количество в них металла. Все эти показатели отражаются в динамике и в комплексе они характеризуют закономерности изменения технологической эффективности процесса предконцентрации для конкретных условий. В численном виде результаты моделирования представлены в табл. 4.

В целом по результатам моделирования можно сделать следующие основные выводы:

1. Отделение от общей рудной массы её долей с относительно меньшими содержаниями полезного компонента

приводит к существенному сокращению объёма конечного продукта горнодобывающего производства (предконцентрата, товарной руды) с одновременным ростом его качества. Глубина процесса предконцентрации возрастает с увеличением граничного содержания металла в рудной массе. В рассматриваемом примере снижение количества рудной массы составило не менее чем на 25 %, а для граничных условий близким к реальным, – порядка 50 %. При этом среднее качество полезного продукта относительно исходного повысилось, соответственно, на 31 % и 76 % при извлечении металла в предконцентрат 0,98 и 0,96 %.

2. Потери полезного компонента в отходах предконцентрации, по мере возрастания граничного содержания металла, изменяются по экспоненциальной зависимости, обратно пропорционально росту содержания металла в предконцентрате. Для близких к реальным граничным условиям потери металла в отходах предконцентрации составили порядка 6 %.

3. Критерием целесообразной глубины процесса внутрирудничной предконцентрации, очевидно, должен быть показатель граничного содержания полезных компонентов в конечной продукции рудника, определяемый как интегральная технолого-экономическая характеристика, устанавливаемая для всей цепи горно-металлургического производства, включающей добычу и обогащение руды, а также металлургический передел.

Коротко об авторах

Кожиев Х.Х. – директор рудоуправления «Талнахское» ГМК «Норильский никель».

