УДК 622.765

А.В.КОРЗНИКОВ
Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОБОГАЩЕНИЯ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КВАРЦИТОВАЯ СОПКА»

Описана методика расчета сложных схем флотации, приведен пример расчета различных типов схем для руды месторождения «Кварцитовая сопка».

The paper describes calculation methodology for complex flotation schemes; calculation of various scheme types for ores from the Kvartsitovaya Sopka Deposit is given as an example.

Схемы, описывающие процессы обогащения, особенно схемы флотации, являются сложными и развитыми, т.е. включают операции разделения, точки смешивания продуктов, а также циркулирующие потоки.

Современный подход к разработке схемы подразумевает подбор оптимального режима обогащения и вывод показателей обогащения на необходимый уровень без лишних экономических трат. В этом смысле оптимизация является необходимой частью разработки схемы.

В работе преследуется цель расчета и оптимизации технологической схемы обогащения свинцово-цинковой руды месторождения «Кварцитовая сопка» на основе практического использования трехкомпонентной программы расчета показателей. Данная методика составления и решения систем линейных уравнений для расчета сложных технологических схем, разработанная И.Ф.Гарифулиным (ОАО «Уралмеханобр») и Е.Б.Порываем (филиал ППМ ОАО «Уралэлектромедь»), позволяет создавать математические модели для прогноза и исследования сложных входных и выходных параметров. Выполнение задачи расчета схемы обогащения методом решения системы линейных уравнений состоит из трех этапов: составление матрицы инциденций, составление матрицы линейных уравнений и собственно решение системы уравнений по формуле

$$X = A^{-1}B,$$

где X – вектор-столбец решений системы; A^{-1} – обратная матрица коэффициентов a_{ij}; B – вектор-столбец свободных членов системы.

Приведем пример расчета одного варианта прямой селективной схемы. Исходными данными являются результаты одного из флотационных опытов. Для более детального исследования процесса расчет разбит на два цикла – свинцовый и цинковый – по более контрастному элементу. Таким образом, настроенный в компьютере модуль расчета конкретной схемы, по сути, является математической моделью процесса, позволяющей исследовать его, меняя входные параметры.

Рассмотрим поэтапно расчет по свинцовому циклу (табл.1-3), расчет по цинковому циклу проводится аналогично.

Расчет и оптимизация схемы обогащения свинцово-цинковой руды месторождения «Кварцитовая сопка» проводились по эволюционному пути: каждый флотационный опыт основывался на обработке результатов предыдущего с целью улучшения показателей обогащения в следующем. Окончанием расчета и оптимизации являлось получение продуктов обогащения заданного качества.

На основании анализа ранее проведенных исследований и изучения химического, фазового и минералогического состава данной руды для проведения флотации приняты прямая селективная и коллективно-селективная схемы обогащения. Данные схемы отличаются числом перечистных операций, способом обра-

Таблица 1

Составление матрицы инциденций (свинцовый цикл)

Операция	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	γ_6	γ_7	Свободные члены
1.Основная Pb-флотация	–1	–1	0	1	1	0	–1
1.Основная Pb-флотация	–1	–1	0	1	1	0	–1
2.Перечистка Pb	1	0	–1	–1	0	0	0
2.Перечистка Pb	1	0	–1	–1	0	0	0
3.Контрольная Pb-флотация	0	1	0	0	–1	–1	0
3.Контрольная Pb-флотация	0	1	0	0	–1	–1	0

Таблица 2

Преобразование матрицы инциденций в матрицу линейных уравнений

Операция	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	γ_6	γ_7	Свободные лены
1.Основная Pb-флотация	–1	–1	0	1	1	0	–100
1.Основная Pb-флотация	–10,45	–0,31	0	5,02	2,75	0	–70
2.Перечистка Pb	1	0	–1	–1	0	0	0
2.Перечистка Pb	10,45	0	–14,23	–5,02	0	0	0
3.Контрольная Pb-флотация	0	1	0	0	–1	–1	0
3.Контрольная Pb-флотация	0	0,31	0	0	–2,75	–0,25	0

Таблица 3

Создание модуля нахождения обратной матрицы и модуль умножения обратной матрицы на вектор-столбец свободных членов

0,03033	–0,1213	–0,8942	0,06284	0,03033	–0,1213
–1,0429	0,07329	–1,0429	0,07329	0,08414	–0,3365
0,01788	–0,0715	0,01788	–0,0715	0,01788	–0,0715
0,01245	–0,0498	–1,912	0,13437	0,01245	–0,0498
–0,025	0,00176	–0,025	0,00176	0,10202	–0,4081
–1,0179	0,07153	–1,0179	0,07153	–1,0179	0,07153

2	5,45965
3	99,161
4	3,21888
5	2,24077
6	2,37986
7	96,7811

ботки промежуточных продуктов, последовательностью, числом одновременно внедряемых реагентов и числом стадий обогащения.

Расчет и оптимизация селективной схемы обогащения. Прямая селективная схема включает:

- измельчение руды в содовой среде в присутствии депрессоров сфалерита и пирита – сульфита натрия и цинкового купороса;
- проведение основной, перечистной и контрольной операций свинцовой флотации;
- цинковый цикл флотации, проводимый по классической технологии с активацией цинковых минералов медным купоросом в известковой среде.

В результате опыта был получен свинцовый продукт с массовой долей свинца 14,23 % и цинка 12,87 %; цинковый концентрат с массовой долей цинка 52,53 % и свинца 1,93 %. Результаты опыта показали, что одной перечистной операции в цикле свинцовой флотации недостаточно для получения свинцового продукта заданного качества. Для улучшения показателей добавлена вторая свинцовая перечистка, которая позволила повысить массовую долю свинца в свинцовом продукте до 15,81 % и снизить массовую долю цинка до 8,40 % при извлечении свинца 72,27 % и цинка 6,52 %.

С целью дальнейшего повышения качества свинцового продукта грубый свинцовый концентрат подвергался доизмельчению до крупности 95-99 % класса –0,045 мм с проведением двух перечистных операций в присутствии депрессоров цинковой обманки. Схема селективной флотации свинцово-цинковой руды с доизмельчением грубого свинцового концентрата позволила повысить массовую долю свинца в свинцовом продукте на 4,39 % (от 15,81 до 20,20 %).

Таким образом, в результате проведенных исследований была разработана и оптимизирована схема селективной флотации сульфидной свинцово-цинковой руды по бесцианидной технологии, включающая рудное измельчение, свинцовую флотацию, доизмельчение грубого свинцового концентрата, цинковую флотацию и две перечистные операции в каждом цикле.

Расчет и оптимизация коллективно-селективной схемы обогащения. Данная схема имеет ряд значительных преимуществ по сравнению с селективной и является экономически более целесообразной за счет выделения большей части хвостов в первом основном цикле флотации, поэтому были проведены исследования, подтверждающие возможность ее применения для обогащения данной руды.

Коллективно-селективная схема включает основную коллективную, свинцовую и цинковую флотации с применением перечисток. В оптимальных условиях технологического и реагентного режимов по схеме коллективно-селективной флотации сульфидной свинцово-цинковой руды, включающей десорбцию коллективного концентрата, сгущение, доизмельчение коллективного концентрата и дальнейшую его селекцию получены:

- свинцовый продукт, соответствующий марке ППСрм ТУ 1725-368-048-2006 с массовой долей свинца 21,26 %;
- цинковый концентрат, соответствующий марке КЦ3 ТУ 1721-007-00201402-2006 с массовой долей цинка 51,80 % при извлечении 79,07 %.

Проведенные исследования по разработке и оптимизации технологической схемы обогащения сульфидной свинцово-цинковой баритсодержащей руды месторождения «Кварцитовая сопка» по бесцианидной технологии по двум схемам показывают, что достигнутый уровень технологических показателей обогащения практически идентичен, как по схеме селективной флотации так и по схеме коллективно-селективной флотации. Следует отметить, что в промышленных условиях, при переработке руд с массовой долей свинца 0,70 %, по разработанным технологическим схемам может быть получен свинцовый концентрат при снижении его извлечения.

Научный руководитель проф. *В.З.Козин*