

УДК 622.765

В.В. Морозов, В.Ф. Столяров, Н.М. Коновалов

**АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФЛОТАЦИИ
НА ОСНОВЕ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПУЛЬПЫ**

Семинар № 21

Повышение эффективности регулирования флотации достигается применением одновременного контроля параметров твердой и жидкой фаз пульпы и использованием методов регулирования, основанных на физико-химических моделях флотации.

Алгоритм управления процессом флотации в оптимальном варианте должен учитывать как оперативную информацию о состоянии технологического процесса, так и накопленные знания о его основных закономерностях. Попытка реализовать такой комплексный подход привела нас к рассматриваемому алгоритму, основой для которого явились наши работы в области адаптивно-детерминированного управления процессом флотации [1] и работы по управлению процессом флотации на основе контроля сортности руды. На рис. 1, в общем виде, представлен предлагаемый алгоритм управления процессом флотации.

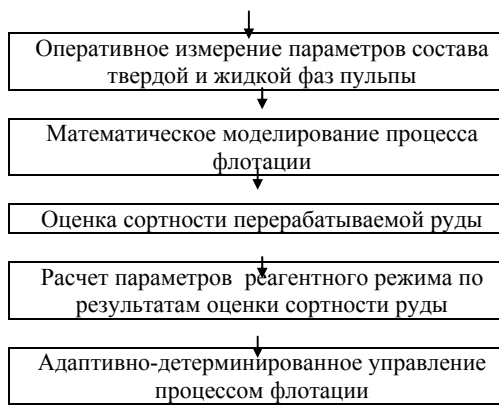


Рис. 1. Блок-схема алгоритма управления реагентным режимом флотации

Основой для эффективного управления является оперативное и надежное измерение состава продуктов обогащения и физико-химических параметров пульпы. Комплекс этих параметров является основой, как для последующей типизации руд, так и адаптивно-детерминированного управления реагентным режимом флотации.

Реализация алгоритмов управления с использованием физико-химических параметров пульпы возможна на основе использования комбинированных систем контроля и регулирования, например системы автоматического управления процессом флотации РА-931, разработанной ЗАО «Элскорт» [2]. Система РА-931 состоит многоканального рентгенофлуоресцентного анализатора, предназначенного для контроля элементного состава твердой фазы пульпы и электрохимического анализатора состава жидкой фазы пульпы. Благодаря конструктивным особенностям измерительного блока, система без затруднений оснащается измерителями расхода, давления и температуры пульпы [3].

Рентгенофлуоресцентный анализатор определяет элементы от Ti до U. Диапазон продолжительности измерения от 15 до 300 с. Одновременно измеряются содержания трех элементов и плотность пульпы. Минимальный предел обнаружения составляет 0,01-0,2 % для пульпы и 0,005-0,01 % - для растворов. Стандартное относительное отклонение не более 1 %. Блок для электрохимического контроля состава жидкой фазы пульпы в технологическом потоке включает электрохимический датчик концентрации водородных и сульфидных ионов. Блок оснащен приспособлением для подачи и отвода калибровочных растворов.

Датчики позволяют контролировать параметры процесса с запаздыванием не более 5 минут, что вполне удовлетворяет известным

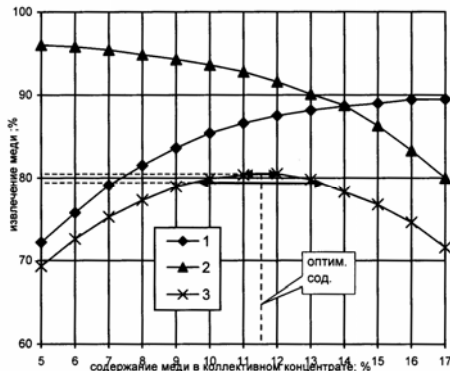


Рис. 2. Зависимости извлечения меди в товарный концентрат (1) коллективный концентрат (3) и суммарного извлечения меди в товарный концентрат (4) от содержания меди в коллективном концентрате.
- уровень извлечения при указанном отклонении () содержания меди в коллективном концентрате от оптимального

требованиям с учетом инерционности объекта регулирования.

За этапом определения параметров твердой и жидкой фаз пульпы следует этап математического моделирования процесса флотации, задачей которого является установление связей между входными и выходными параметрами объекта. Моделирование представляет собой трудную задачу из-за сложности объекта, значительных колебаний свойств руды и применения значительного числа флотационных реагентов. Сложность процесса обусловлена также значительным взаимовлиянием параметров, не позволяющим с необходимой эффективностью применить стандартные методы статистического регрессионного анализа.

Основным методологическим принципом при моделировании процесса флотации является комбинирование статистических и физико-химических методов, позволяющих использовать накопленные знания о природе протекающих при флотации физико-химических процессов, а также полученную из экспериментов информацию. Для получения адекватной модели процесса флотации используются данные о механизме и динамике физико-химических процессов, протекающих в пульпе. В том числе в модель включены параметры, определяемые закономерностями массопереноса во флотомашинах.

Разработанная модель, независимо от используемого метода моделирования, воспроизводит объективно существующие передаточные функции моделируемого процесса, связывающие конечные технологические показатели процесса с контролируемыми параметрами исходного сырья, работы технологического оборудования и технологическими параметрами (расходами реагентов, воздуха и т.д.).

Модель учитывает влияние на технологический процесс неконтролируемых или косвенно контролируемых параметров руды и технологического процесса. В наибольшей мере должно быть учтено наличие колебаний этих параметров во времени и их влияние как на конечные технологические показатели, так и на контролируемые параметры.

Оценка сортности перерабатываемой руды основывается на физико-химической модели процесса флотации и может быть осуществлена с использованием метода расчета долей принадлежности к нескольким типовым сортам руд. Типовые руды выделяются технологиями опытным путем и являются для решения нашей задачи областью нахождения оптимального решения. При поступлении руды на флотацию необходимо определить, к какому типу, и в какой мере относиться поступившая руда.

Графоаналитический метод заключается в нахождении доли принадлежности полученной точки к определенным точкам в многомерном пространстве. Суть расчета долей принадлежности руды к определенному типу состоит в том, что поступившую руду можно отнести в различных пропорциях к каждому из известных типов руды (d_i^F).

На основании полученных результатов при анализе сортности руды рассчитывается расход реагентов для поступившей руды. В наиболее простом варианте рекомендуемый расход реагентов может рассчитываться как средневзвешенный относительно расходов реагентов для каждого сорта руды:

- расход извести:

$$PI = d_1^F \times PI_1 + d_2^F \times PI_2 + d_3^F \times PI_3 + d_4^F \times PI_4 \quad (1)$$

- расход собирателя:

$$PC = d_1^F \times PC_1 + d_2^F \times PC_2 + d_3^F \times PC_3 + d_4^F \times PC_4 \quad (2)$$

- расход вспенивателя:

$$PB = d_1^F \times PB_1 + d_2^F \times PB_2 + d_3^F \times PB_3 + d_4^F \times PB_4 \quad (3)$$

где PI_1 - расход извести для руды Типа 1, PI_2 - расход извести для руды Типа 2, PI_3 - расход извести для руды Типа 3, PI_4 - расход извести для руды Типа 4 и, соответственно, PC_1 , PC_2 , PC_3 , PC_4 - расход собирателя, PB_1 , PB_2 , PB_3 ,

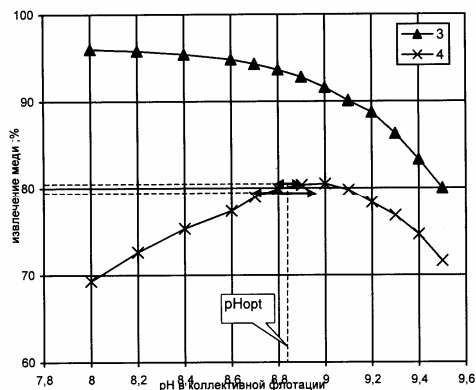


Рис. 3. Зависимости извлечения меди в коллективной флотации (3) и общего извлечения меди в товарный концентрат (4) от величины pH в коллективной флотации.

PV_4 – расход вспенивателя. На практике необходимо учитывать взаимодействие между сортами руды, вследствие чего оптимальный расход каждого реагента будет отличаться от средневзвешенного.

Вышеописанный блок управления реагентным режимом по сортности руды не учитывает влияние экономических факторов.

Корректировка реагентного режима осуществляется посредством оптимизационной программы «АДДЕФЛОТ» [4]. Сутью разработанного адаптивно - детерминированного метода регулирования является реализация регулирования на двух уровнях. Нижний уровень осуществляет регулирование расходов реагентов на основе контроля ионного состава жидкой фазы пульпы. Задачей регулирования является поддержание в жидкой фазе пульпы соотношений между параметрами ионного состава. Соотношения между концентрациями в жидкой фазе пульпы задаются уравнениями типа:

$$pH = \text{const}; pS = \text{const}; apS + bpH = \text{const}; a pC + b pH = \text{const} \quad (4)$$

здесь: pS - функция концентрации сульфидных ионов, pC - ионов собирателя.

К примеру, нижний уровень регулирует расход извести с использованием модели

$$pH = K_1 \quad (5)$$

Принцип оперирования второго контура заключается в определении и внесении в функцию-задатчик нижнего уровня такого значения параметра K_1 , при котором достигается наибольшая экономическая эффективность процесса.

В качестве критерия экономической эффективности процесса целесообразно использовать функцию потерь ценных компонентов, принимающая в расчет стоимости теряемых метал-

лов. Для двухкомпонентной руды в упрощенном виде функция имеет следующий вид:

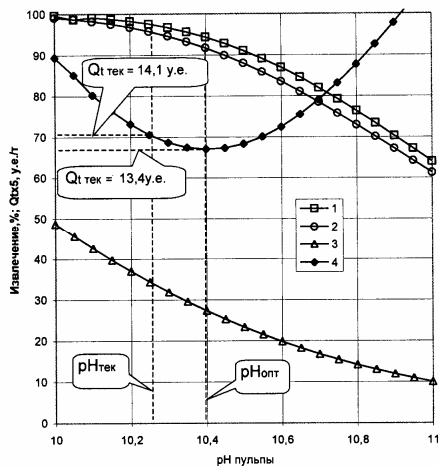
$$Q_t = \varepsilon^*_1 C_1 \alpha_1 + \varepsilon^*_2 C_2 \alpha_2 \quad (6)$$

где ε^* , C , α - потери, цена и содержание в руде ценных компонентов 1,2

Цена металла в концентрате здесь является функцией от содержания основного металла и примесей. Ее определение представляет собой несложную расчетную задачу.

Для циклов коллективной флотации задачей управления является поиск такого соотношения между извлечением ценных компонентов и их содержанием в коллективном концентрате, при которых сквозное извлечение ценных компонентов (от исходной руды – в товарный концентрат) и качество товарных концентратов было бы максимальным. Для решения поставленной задачи предлагается использовать в качестве промежуточного оптимизационного параметра содержание меди в коллективном концентрате, как связывающую величину между технологическими показателями коллективного и селективного цикла (содержанием меди в руде, в товарном концентрате и подцикловом извлечением ценных компонентов). Математическая задача управления упрощается при наложении на систему ограничений, например по содержанию основного компонента в товарном концентрате. В этом случае существует зависимость между извлечением ценного компонента, например меди, в товарный концентрат (ε_{Cu}) в операциях селективной флотации и качеством коллективного концентрата (как питания селективного цикла) иллюстрируемая рис. 2. (завис.1). На рис. 2 изображены также зависимость извлечения меди в коллективный концентрат (завис.2) и зависимость суммарного извлечения меди в товарный концентрат от содержания меди в коллективном концентрате (3), рассчитанная как произведение извлечений в коллективном и селективном циклах. Как видно из рис. 4 при определенном качестве концентрата существует локальный максимум суммарного (сквозного) извлечения меди в товарный концентрат (при стабильном содержании металла в руде).

Учитывая, что существует однозначная зависимость между основными технологически-



ми показателями коллективной флотации (в т.ч. содержанием меди в коллективном концентрате β_{Cu}) и расходом извести, можно утверждать, что имеет место связь между критерием оптимизации – суммарным извлечением и pH пульпы (расходом извести), изображенная на рис. 6 и полученная путем использования связи между β_{Cu} в коллективном концентрате и pH в коллективной флотации. Использование в качестве параметра оптимизации вместо содержания меди в коллективном концентрате величины pH (расхода извести) позволяет вести управление процессом в условиях изменения качества перерабатываемой руды (рис. 3).

Кроме извлечений ценных компонентов необходимо учитывать качество коллективного

Рис. 4. Зависимость извлечений меди (1), цинка (2) и пиритного железа (3) в концентрат и критерия оптимизации Q_i (4) от щелочности пульпы в коллективной флотации

концентрата, определяющего показатели селективного цикла.

В наиболее простом случае для медно-цинковых руд снижение качества медно-цинкового концентрата обусловлено извлечением в него пирита. Целевая функция описывается зависимостью

$$Q_i = \varepsilon_{Cu}^* \Pi_{Cu} \alpha_{Cu} + \varepsilon_{Zn}^* \Pi_{Zn} \alpha_{Zn} + \varepsilon_{Py} \Pi_{Py} \alpha_{Py} \quad (7)$$

где ε_{Py} , Π_{Py} – извлечение в коллективный концентрат пирита и условная стоимость его удаления из коллективного концентрата.

Из рис. 4 видно, что отклонение значения pH пульпы в медно-цинковой коллективной флотации от оптимального ведет в рассматриваемом случае к росту приведенных потерь металлов в стоимостном эквиваленте в размере 0,7 доллара на 1 т перерабатываемой руды.

Таким образом, использование рассмотренного алгоритма автоматического регулирования процесса флотации на основе контроля и регулирования физико-химических параметров пульпы позволяет за счет ведения процесса флотации в оптимальных условиях как повысить извлечение ценных компонентов на 1-2 %, так и за счет учета экономических факторов увеличить стоимость товарной продукции на 2-3 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов В.В., Авдохин В.М. Оптимизация обогащения полиметаллических руд на основе контроля и регулирования ионного состава пульпы и оборотных вод // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГТУ, 1998. – №1. – с. 27-32.
2. Столяров В.Ф., Коновалов Н.М., Морозов В.В. Система оперативного контроля содержания металлов и плотности пульпы в потоке // 3-й конгресс обогатителей стран СНГ, 2001 г., МИСиС. – с. 201-202.
3. Патент РФ №2201290 от 28.08.2001, опубл. 27.03.2003 Б.И. № 9.
4. Столяров В.Ф., Коновалов Н.М., Морозов В.В., Авдохин В.М. Оперативный контроль и регулирование процесса флотации полиметаллических руд с использованием физических и электрохимических методов анализа // Горный журнал, 2002, №11-12. – С. 58-62.

Коротко об авторах

Морозов Валерий Валентинович – профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой химии, Московский государственный горный университет.
Столяров В.Ф., Коновалов Н.М. – ЗАО «Элскорт».