УДК 658.52.011.56:622.765:622.343

А.М.КУРЧУКОВ, *аспирант, kurchukov@spmi.ru*
В.Н.КОРДАКОВ, *д-р техн. наук, профессор*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

A.M.KURCHUKOV, *post-graduate student, kurchukov@spmi.ru*
V.N.KORDAKOV, *Dr. in eng. sc., professor*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФЛОТАЦИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

В статье предложена функциональная схема и методика расчета автоматизированной системы управления процессом флотации медно-никелевых руд, основанные на оптимизации реагентного режима и параметров пенообразования. Их использование на стадии проектирования системы управления гарантирует повышение эффективности процесса флотации и увеличение качественных показателей обогащения.

Ключевые слова: функциональная схема, методика расчета, управление флотацией, кинетика флотации, пенообразование.

AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE FLOTATION PROCESS OF COPPER-NICKEL ORES

This article introduces the functional diagram and calculation methodology of the automated control system the flotation of copper-nickel ores, based on the optimization of reagent conditions and parameters of froth. Their use in the design stage control system guarantees the efficiency of flotation process and increase quality rate of enrichment.

***Key words*:** functional diagram, calculation methodology, control flotation, kinetics of flotation, froth.

Задачи существующих АСУ ТП процессом флотации заключаются в стабилизации параметров первичных технологических контуров, таких как уровень пульпы во флотомашине, расход флотационного воздуха и реагентов. Основные функции управления выполняет оператор-технолог, роль которого заключается в осуществлении воздействий непосредственно на технологические контуры, изменяя задания расхода воздуха, реагентов, уровни пульпы во флотомашинах. Несвоевременные и неадекватные действия оператора, невозможность учета дополнительных возмущающих воздействий не позволяют оптимизировать процесс флотации*.

Для повышения эффективности процесса флотационного обогащения медно-никелевых руд предлагается при разработке автоматизи рованной системы управления комплексно контролировать параметры ионного состава и пенообразования флотационной пульпы. На основе анализа статистико-технологических моделей осуществляется оптимизация режи мов пенообразования и управление парамет рами флотации.

Автоматизированная система управле ния процессом флотации медно-никелевых руд содержит три уровня: фабрики, секции, технологического аппарата и ее функциональная схема приведена на рис.1.

На фабричном уровне реализуется оптимизационное управление технологичес кими показателями фабрики, в том числе осуществляется учет содержания полезного компонента в готовом концентрате. Крите рием оптимизации данной подсистемы

* *Курчуков А.М.* О принципах управления флотационным переделом / А.М.Курчуков, А.О.Смирнов, Н.В.Лучков // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 7. С. 23-28.

Kurchukov A.M. About management maxims of the flotation change / *A.M.Kurchukov, A.O.Smirnov, N.V.Luchkov* // Automation and modern technology. 2009. № 7. P. 23-28.

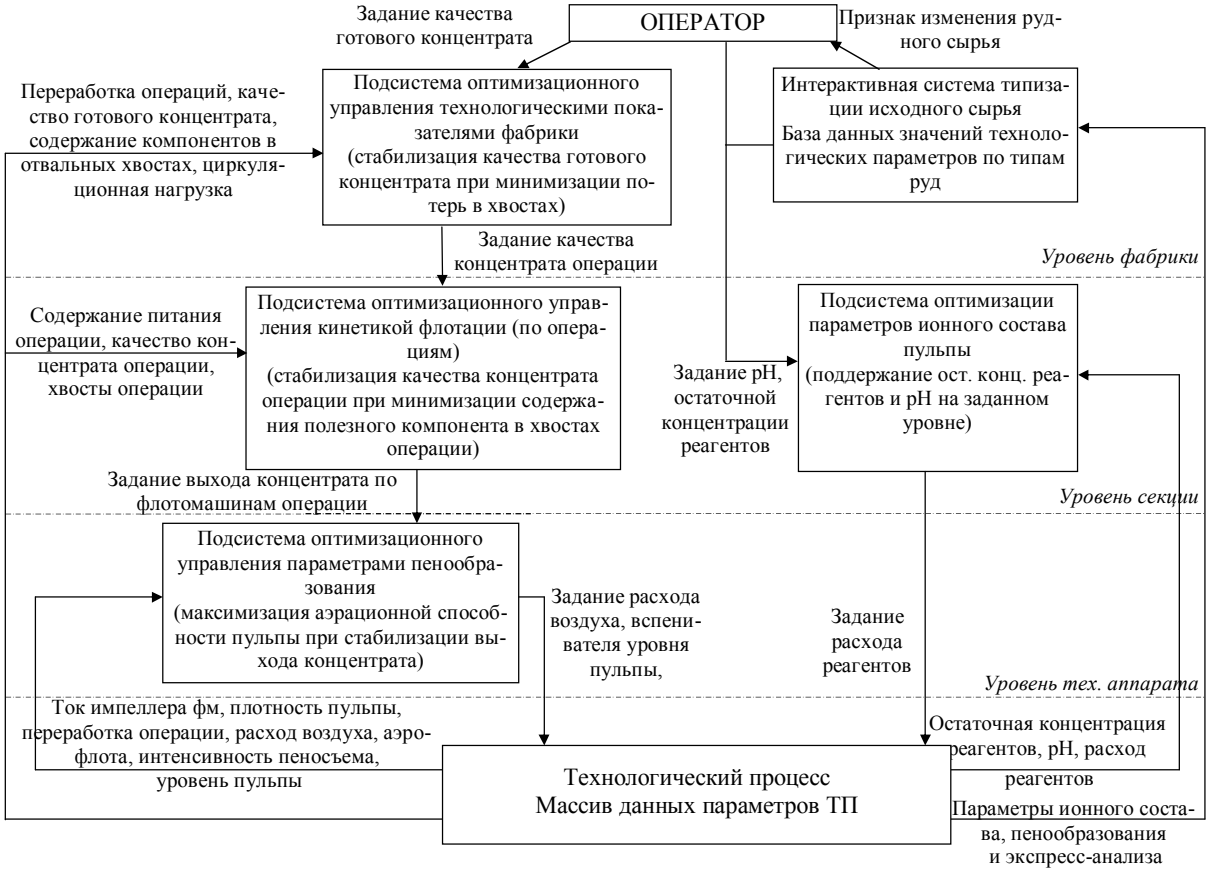


Рис.1. Функциональная схема АСУТП флотации медно-никелевых руд

является стабилизация содержания никеля в готовом концентрате при минимизации потерь никеля в отвальных хвостах. Она управляет технологическими показателями фабрики, формирует задание подсистемам управления кинетикой флотации (по операциям) на основе заданного оператором качества готового концентрата.

Подсистема технологической типизации, основанная на анализе информационной базы, учитывает параметры ионного состава пульпы, пенообразования, результаты экс пресс-анализа и алгоритм определения технологических типов руд. Она позволяет осуществить типизацию перерабатываемого сырья и формировать пределы изменения остаточной концентрации реагентов, что необходимо для оптимизации параметров ионного состава пульпы. Информация о перера батываемом в данный момент техноло гическом типе сырья и его физико-химичес кие особенности передаются оператору, что целесообразно для принятия организационно-технических решений при аварийных ситуациях.

На секционном уровне реализуется управление кинетикой флотации (по операциям) и оптимизация реагентного режима флотационной пульпы. Решается задача стабилизации выхода концентрата (по операциям), поддержание остаточной концентрации реагентов и pH на заданном уровне.

Учет ионного состава флотационной пульпы позволяет упростить модель объекта, за счет выделения из нее физико-химических параметров. Подсистема оптимизации пара метров ионного состава пульпы включает в себя контуры стабилизации остаточной концентрации диметилдитокарбамата натрия (ДМДК), стабилизации pH пульпы и расхода ксантогената. Для контроля остаточной концентрации ионов ДМДК были разработаны специальные ионоселективные электроды.

На уровне технологического аппарата функциональной схемы представлены аппа-

ратные средства управления расходом воздуха, вспенивателя, уровнем пульпы и кинетикой флотации. Формируются первичные управляющие контуры для оперативного управления параметрами пенообразования (аэрационной способностью пульпы, интен–сивностью пеносъема).

Математическая модель оптимизационного управления параметрами пенообразования имеет вид

$$Y_{\text{ИНТ}} = B_0 + B_1\rho_{\text{ПУЛ}} + B_2 G_{\text{ОПЕР}} + B_3\beta_{Ni,\text{ОПЕР}} + B_4\alpha_{Ni,\text{ПИТ}} + B_5\alpha_{\text{Cu,ПИТ}} + A_1 F_{\text{ВОЗ}} + A_2 F_{\text{АФ}} + A_3 H;$$

$$A = C_0 + C_1\rho_{ПУЛ} + C_2 G_{ОПЕР} + C_3\beta_{Ni,ОПЕР} + C_4\alpha_{Ni,ПИТ} + C_5\alpha_{Cu,ПИТ} + D_1 F_{ВОЗ} + D_2 F_{АФ} + D_3 H;$$

$$A_{\text{РАСЧ}} = K_{\Phi}\frac{F_{ВОЗ}(G_{ОПЕР} + G_{ЦИРК})}{(G_{\text{ОПЕР}}\rho_{\text{ПУЛ}} + G_{\text{ЦИРК}}\rho_{\text{ПУЛцирк}})I_{\text{ФМ}}}100\%,$$

где $Y_{\text{ИНТ}}$ – выход пенного продукта с камеры флотомашины, характеризуемый интенсивностью пеносъема, %; А – варьируемая аэрационная способность пульпы в камере флотомашины, %; $A_{\text{РАСЧ}}$ – расчетная аэрационная способность пульпы, %; $F_{\text{ВОЗ}}$ – расход воздуха во флотомашину, м^3/мин; $F_{\text{АФ}}$ – расход аэрофлота, г/т; H – уровень пульпы, м; $\rho_{ПУЛ}$ - плотность пульпы питания, кг/см^3; $\rho_{\text{ЦИРК}}$ – плотность циркуляции, кг/см^3; $G_{\text{ОПЕР}}$ – переработка секции, т/ч; $G_{\text{ЦИРК}}$ – циркуляционная нагрузка, т/ч; $\alpha_{\text{Ni,ПИТ}}, \alpha_{\text{Cu,ПИТ}}$ – содержание никеля и меди в питании соответственно, %; $\beta_{\text{Ni,ОПЕР}}$ – содержание никеля в концентрате операции, %.

Для измерения физического выхода $Y_{\text{ИНТ}}$ пенного продукта на флотационных машинах установлены датчики интенсивности пеносъема ДВК-2МК.

Определение управляющих параметров математической модели производится для каждой камеры флотомашин всего каскада. Ограничением к изменению управляющих параметров является задание кинетики фло тации. Таким образом, оптимизационное управление пенообразованием основано на регулировании расхода воздуха, уровня пульпы, расхода вспенивателя для каждой флотомашины, что отражено в представлен ной функциональной схеме.

При проектировании АСУТП рассматриваемой системы необходимо вычислить регулируемые параметры и пределы их изменения. Алгоритм методики определения оптимальных параметров управления представлен на рис.2 и основан на анализе статистико-технологических моделей. При разработке статистико-технологических моделей использовался факторный анализ (в работе применялся программный продукт STATISTICA 8.0 модуль FACTOR ANALYSIS) и алгоритмы адаптации. Цель адаптации сводится к минимизации остаточной дисперсии модели путем варьирования значений коэффициентов уравнения модели. В блоках 2-4 алгоритма производится первичная фильтрация данных технологического процесса и определение статистических входных переменных. В блоках 5-8 выполняется расчет коэффициентов математической модели с учетом изменения значимых возмущающих и управляющих параметров процесса. Для управляющих и возмущающих воздействий вычисляются матрицы весов факторного пространства, что необходимо для получения коэффициентов математической модели. На основе анализа адаптивных алгоритмов в блоках 10-12 производится расчет коэффициентов, которые удовлетворяют условию минимизации остаточной дисперсии модели $Y_{инт}$ и A. Для вычисления границ изменения управляющих параметров предлагается учитывать рекомендованные пределы возмущающих воздействий с учетом технологического типа перерабатываемого сырья (блоки 13-15). Это необходимо учитывать при решении уравнений приведенной модели для условий $Y_{\text{ИНТ}} = \text{const}$ и $A \rightarrow \max$. В блоках 16-17 определяются оптимальные параметры полученной модели, а в блоках 18-19 вычисляются прогнозируемые показатели качества процесса флотации в реальном времени.

Повышение эффективности технологического процесса флотации обеспечивается путем разработки технических предложений по реализации рассмотренной АСУТП, ос-

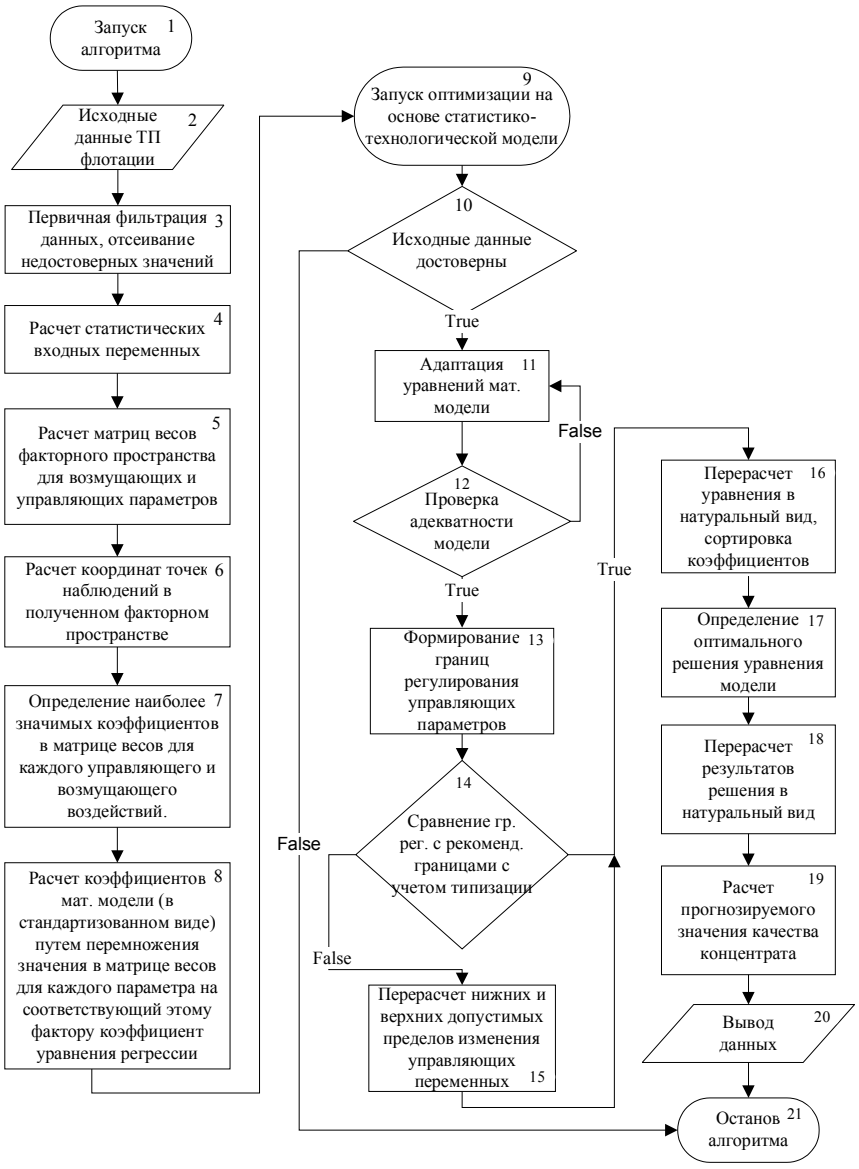


Рис.2. Алгоритм методики определения оптимальных параметров управления

нову которой составляют приведенные функциональная схема (рис.1) и методика определения оптимальных параметров модели управления (рис.2).

Применительно к Норильской обогатительной фабрике ОАО «ГМК «Норильский Никель» разработаны и внедрены функциональная схема АСУТП и методика определения параметров статистико-технологической модели оперативного управления процессом флотации. Это позволило повысить увеличить содержание полезного компонента в готовом концентрате на 1,5 %.