УДК 681.51:622.752.4

Л.А.ПИЛИПЕЦ
ГОУРФ ВПО «Норильский индустриальный институт»

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СГУЩЕНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ ПУЛЬПЫ

Произведен анализ процессов сгущения медно-никелевой пульпы на Талнахской обогатительной фабрике. Выделен контур сгущения сливов гидроциклонов перед медной флотацией и обоснована необходимость его автоматизации. Сформулирована многокритериальная постановка задачи и определены приоритеты отдельных функционалов. Выделены управляемые переменные данного объекта автоматизации, возмущающие и управляющие воздействия. Предложена двухуровневая система автоматического управления процессом сгущения медно-никелевой пульпы, ее структурная схема, а также вариант математической модели верхнего уровня.

An analysis of copper-nickel thickening process at the Talnakh concentrating mill is given. A section of cyclone washer discharge thickening before copper flotation is outlined and the necessity of its automation is justified. A multi-objective problem is formulated and priority of each composite function is determined. Operated parameters of the selected automation object, perturbation and monitoring actions are selected. A two-level automatic control system of the copper-nickel fine pulp thickening process is offered and its function chart is made up. A variant of upper level mathematical model is given.

Талнахская обогатительная фабрика (ТОФ) оснащена современным оборудованием. Управление основными технологическими процессами – дроблением, измельчением, флотацией – осуществляется с помощью SCADA системы PROSCON 2100. Наиболее «узким местом» с точки зрения автоматизации являются процессы сгущения.

В отделении сгущения применяют только локальные автоматические системы поддержания заданных расходов пульпы из сгустителей. Заданные значения определяет оператор-технолог на основании опыта и в допустимых технологическим регламентом пределах. Субъективные задания регуляторам сказываются на качестве работы не только данного, но и всех последующих переделов. Поэтому разработка системы автоматического управления процессом сгущения пульпы является наиболее актуальной задачей для данного предприятия.

Существует несколько контуров сгущения, каждый из них выполняет определенную задачу, на каждом есть проблемы автоматизации.

Для получения в процессе флотации концентратов заданного качества необходимо, чтобы технологические параметры процесса поддерживались на определенном уровне. Сгустители 2, 3, 4 предназначены для того, чтобы сгладить колебания плотности и объемного расхода пульпы, поступающей во флотомашину, поэтому они были выбраны в качестве объекта автоматизации.

Слив гидроциклонов (см. рисунок) поступает в распределительную коробку 4, откуда под естественным напором пульпа самотеком поступает по трубам в соответствующий сгуститель. Оптимальная степень открытия заслонок 5 определена экспериментальным путем и поддерживается постоянной.

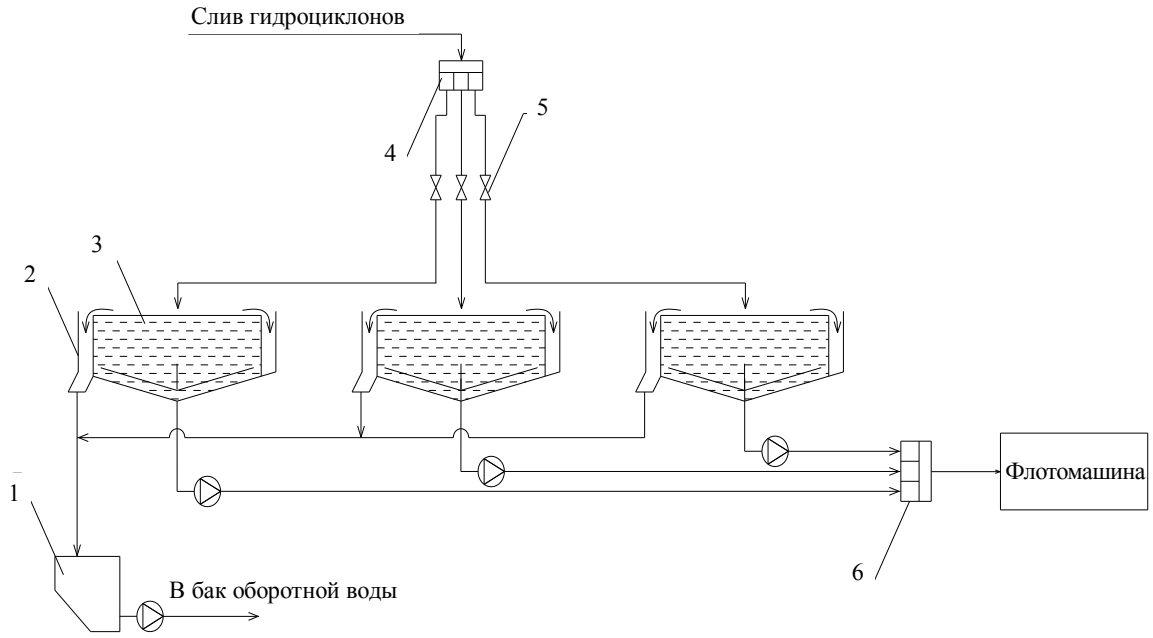


Схема цепи аппаратов контура сгущения перед медной флотацией

Каждый из сгустителей можно условно представить в виде двух емкостей. Во внутренней емкости 3 происходит сгущение поступившей пульпы. Осветленная часть пульпы переливается через внутренний борт во внешнюю емкость 2, откуда по трубе стекает в зумпф 1. Из зумпфа сливы перекачиваются насосом в бак оборотной воды. Сгущенная пульпа с помощью насосов подается в распределительную коробку 6 и далее самотеком поступает во флотомашину.

Управление должно вестись таким образом, чтобы три параметра: мутность слива, выходная плотность и объемный расход сгущенной пульпы – поддерживались в установленных технологическим регламентом диапазонах.

В настоящее время на основании информации о ходе процесса сгущения оператор-технолог определяет оптимальное значение расхода сгущенной пульпы и вводит это значение в качестве задания для локальных регуляторов. Анализ показал, что указанные основные технологические параметры не выдерживаются в требуемом технологическом диапазоне.

Тогда постановку задачи можно сформулировать следующим образом: поддерживать оптимальную плотность сгущенной пульпы и минимальную мутность сливов, что обеспечивается следующей целевой функцией:

$$I = \int_0^t \gamma_1 I_1 + \gamma_2 I_2 \to \min,$$

где I, I_1, I_2 – функционалы; $I_1 = (\rho_{зад} - \rho)^2$; $I_2 = \rho_{сл} - \rho_{сл.зад}$; t – время работы системы; γ_1, γ_2 – весовые коэффициенты; $\rho_{зад}$ – заданная плотность пульпы; ρ – фактическая плотность пульпы; $\rho_{сл.зад}$ – заданная плотность слива; $\rho_{сл}$ – фактическая плотность слива.

При этом накладываются следующие ограничения:

$$\begin{cases} 1500 \text{ м}^3/\text{ч} \le F_{\text{пульпы}} \le 1600 \text{ м}^3; \\ 1370 \text{ кг/м}^3 \le \rho \le 1450 \text{ кг/м}^3; \\ \rho_{сл} \le 200 \text{ мг/л}, \end{cases}$$

где $F_{\text{пульпы}}$ – расход пульпы во флотомашину.

Из постановки задачи следует, что управляемыми переменными процесса сгущения являются мутность слива и плотность сгущенной пульпы. Из указанных величин мутность является приоритетным парамет-

ром, так как потери ценных компонентов со сливом считаются недопустимыми. Колебания плотности ухудшают процесс флотации и, следовательно, качество получаемого концентрата сильнее, чем изменение расхода. Поэтому выходная плотность имеет приоритет перед расходом сгущенной пульпы.

На процесс сгущения существенно влияет объемный расход пульпы, поступающей в сгустители. Объем распределительной коробки недостаточен, чтобы служить накопительной емкостью, поэтому даже при незначительном рассогласовании между приходом и расходом пульпы происходит затопление цеха. При неизменном размере открытия заслонок постоянно наблюдаются сильные всплески в подаче пульпы, поэтому загрузкой сгустителя управлять не представляется возможным.

Следовательно, плотность сгущенной пульпы и мутность слива можно изменять только расходом из сгустителя, но возможности регулирования данным параметром ограничены.

Проведенные на ТОФ исследования показали, что для повышения скорости осаждения частиц в пульпе в 2,6 раза можно применять флокулянт «Праестол 2530» в размере 5 г/т. Тогда в качестве одного из управляющих воздействий можно использовать расход данного реагента, который в настоящее время не применяется.

Исходя из вышесказанного, предлагается двухуровневая система автоматического управления процессом сгущения медно-никелевой пульпы. На нижнем уровне находятся два локальных контура регулирования расхода пульпы из сгустителя и расхода флокулянта, работающие по отклонению. Задания рассчитываются на верхнем уровне, куда поступает вся информация об объекте управления.

Мутность слива в настоящее время определяется визуально, с частотой примерно один раз в час, поэтому в системе предлагается установить датчик мутности. Литературный обзор показал, что для данных условий приемлем мутномер CUS 41 фирмы «Endress-Hauser» с преобразовательным блоком Liquisys CUM 223. Расчет настроек и закона регулятора определяется настройкой системы на симметричный оптимум. Наибольший интерес представляет верхний уровень, который реализован в виде системы логических математических моделей.

В результате исследований были найдены промежуточные контрольные точки для расхода сгущенной пульпы, для плотности сгущенной пульпы, с помощью которых процесс управления сгустителем можно разбить на режимы, представленные в таблице. Логика работы системы такова, что ситуации, обозначенные X, никогда не наступят. Примем следующие обозначения: F, F_{min}, F_{max} – текущее, минимальное и максимальное значения расхода пульпы из сгустителя; ρ, ρ_{min}, ρ_{max} – текущее, минимальное и максимальное значения плотности сгущенной пульпы; F_1, F_2 и ρ_1, ρ_2, $\rho_{сл2}$ – промежуточные контрольные точки значений расхода, плотности сгущенной пульпы и мутности слива, определенные экспериментально; $F_ф$ – расход флокулянта; $\rho_{сл}$ – мутность слива.

Режимы управления сгустителем

ρ	$F_{min} < F \le F_1$	$F_1 < F < F_2$	$F^2 \le F < F_{max}$
$\rho_{min} \le \rho \le \rho_1$	1)	3)	X
$\rho_1 < \rho < \rho_2$	2)	4)	6)
$\rho_2 \le \rho \le \rho_{max}$	X	5)	7)

Расчет управляющего воздействия – расхода пульпы из сгустителя – для соответствующего режима определяется по следующим формулам:

I. $\Delta F = 0$

4) $\begin{cases} F_1 < F < F_2; \\ \rho_1 < \rho < \rho_2; \end{cases}$ 3) $\begin{cases} F_1 < F < F_2; \\ \rho_{min} < \rho \le \rho_1; \\ \rho' \ge 0; \end{cases}$

5) $\begin{cases} F_1 < F < F_2; \\ \rho_2 \le \rho < \rho_{max}; \\ \rho' \le 0; \end{cases}$ 1) $\begin{cases} F_{min} < F \le F_1; \\ \rho_{min} < \rho \le \rho_1; \\ \rho' \ge 0; \end{cases}$

7) $\begin{cases} F_2 \le F < F_{max}; \\ \rho_2 \le \rho < \rho_{max}; \\ \rho' \le 0; \end{cases}$ 6) $\begin{cases} F_2 \le F < F_{max}; \\ \rho_1 < \rho < \rho_2; \\ \rho' = 0; \end{cases}$

2) $\begin{cases} F_{\min} < F \le F_1; \\ \rho_1 < \rho < \rho_2; \\ \rho' = 0. \end{cases}$

II. $\boldsymbol{F}\downarrow$

3) $\begin{cases} F_1 < F < F_2; \\ \rho_{\min} < \rho \le \rho_1; \\ \rho' < 0; \end{cases}$ 1) $\begin{cases} F_{\min} < F \le F_1; \\ \rho_{\min} < \rho \le \rho_1; \\ \rho' < 0; \end{cases}$

2) $\begin{cases} F_{\min} < F \le F_1; \\ \rho_1 < \rho < \rho_2; \\ \rho' < 0; \end{cases}$ 6) $\begin{cases} F_2 \le F < F_{\max}; \\ \rho_1 < \rho < \rho_2; \\ \rho' < 0; \end{cases}$

1* $\begin{cases} F \le F_{\min}; \\ \rho \approx \rho_{\min}; \\ \rho' < 0; \end{cases} \Rightarrow F\downarrow < \min;$

выдача сообщения о нарушении в работе предыдущего передела: «Слишком мало материала».

III. $\boldsymbol{F}\uparrow$

5) $\begin{cases} F_1 < F < F_2; \\ \rho_2 \le \rho < \rho_{\max}; \\ \rho' > 0; \end{cases}$ 7) $\begin{cases} F_2 \le F < F_{\max}; \\ \rho_2 \le \rho < \rho_{\max}; \\ \rho' > 0; \end{cases}$

2) $\begin{cases} F_{\min} < F \le F_1; \\ \rho_1 < \rho < \rho_2; \\ \rho' > 0; \end{cases}$ 6) $\begin{cases} F_2 \le F < F_{\max}; \\ \rho_1 < \rho < \rho_2; \\ \rho' > 0; \end{cases}$

2* $\begin{cases} F \ge F_{\max}; \\ \rho \approx \rho_{\max}; \\ \rho' > 0; \end{cases} \Rightarrow F\uparrow > \max;$

выдача сообщения о нарушении в работе предыдущего передела: «Слишком много материала».

При снижении скорости осаждения частиц используется дополнительный контур расхода флокулянта. Флокулянт начинает дозироваться в пульпу, когда текущее значение мутности превысит некоторое граничное значение $\rho_{сл.2} < \rho_{сл.\max}$, которое определяется экспериментально. Расход флокулянта определяется следующим образом:

$$F_ф = 0, \text{ если } \begin{cases} F_ф = 0; \\ \rho_{сл} < \rho_{сл.2}; \end{cases} \text{ или } \begin{cases} F_ф = 0; \\ \rho_{сл} > \rho_{сл2}; \\ \rho'_{сл} \le 0; \end{cases}$$

$$\text{или } \begin{cases} F_ф \ne 0; \\ \rho_{сл} < \rho_{сл2}; \\ \rho'_{сл} \ge 0; \end{cases}$$

$$F_ф\uparrow, \text{ если } \begin{cases} F_ф = 0; \\ \rho_{сл} > \rho_{сл2}; \\ \rho_{сл} > 0; \end{cases} \text{ или } \begin{cases} F_ф \ne 0; \\ \rho_{сл} > \rho_{сл.2}; \\ \rho'_{сл} > 0; \end{cases}$$

$$F_ф\downarrow, \text{ если } \begin{cases} F_ф \ne 0; \\ \rho_{сл} < \rho_{сл2}; \\ \rho_{сл} < 0; \end{cases} \text{ или } \begin{cases} F_ф \ne 0; \\ \rho_{сл} > \rho_{сл2}; \\ \rho'_{сл} \le 0. \end{cases}$$

Научный руководитель к.т.н. доц. *И.Н.Семенова*