

Ислам Абдельхамид Юсеф Аль Бостанжи

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА С ПОМОЩЬЮ ПРОМЫШЛЕННОГО МАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА

Актуальность вопроса. Показателем качества железорудного концентрата, который производится на магнитообогатительных фабриках, является массовая доля общего железа. Контроль качества концентрата осуществляется с помощью ручного отбора технологических проб и их химического анализа в лаборатории [1]. Периодичность отбора обычно составляет несколько раз в смену, что недостаточно для управления качеством концентрата. В работе [2] был предложен способ оперативного автоматического контроля массовой доли магнитного железа в промпродукте магнитного сепаратора по величине магнитной индукции в рабочей зоне сепаратора.

Магнитную индукцию было предложено измерять с помощью датчиков Холла или магнитных резисторов, размещенных в междуполюсном пространстве сепаратора. Однако этот способ имел низкую точность измерения, так как статические характеристики магнитного сепаратора дрейфуют из-за изменения химического состава слоя концентрата на поверхности барабана сепаратора.

Управление качеством концентрата происходит с большим запаздыванием путем изменения производительности по исходной руде на входе технологической секции. Поскольку запаздывание секции составляет около двух часов, то такое управление качеством концентрата является неэффективным. Концентрат, поступающий по сборному конвейеру на склад, не удовлетворяет требованиям как по качеству, математическому ожиданию, так и по дисперсии.

Для повышения эффективности управления качеством концентрата необходимо прогнозировать показатель качества концентрата на период эквивалентного запаздывания секции обогащения с целью выработки упреждающего управляющего воздействия.

Постановка задачи – измерение и прогнозирование массовой доли общего железа в концентрате по величине магнитной индукции поля в рабочей зоне сепаратора.

Цель работы – разработка методов измерения и прогнозирования массовой доли общего железа в концентрате с помощью датчика магнитной индукции в междуполюсном пространстве рабочей зоны промышленного магнитного сепаратора.

Для достижения поставленной цели система автоматического контроля должна выполнять следующие функции:

1. Измерение сопротивления магнитного резистора, размещенного на поверхности полюсных наконечников в рабочей зоне сепаратора.

2. Автоматическая коррекция статической характеристики системы по результатам химанализа на общее железо отобранных проб методом наименьших квадратов.

3. Определение истинных значений массовой доли общего железа в концентрате по показаниям датчика.

4. Прогнозирование ожидаемого значения массовой доли общего железа по показаниям системы на время одного интервала опробывания.

Общий вид статической характеристики системы автоматического контроля массовой доли железа в концентрате представлен на рис. 1, где 1 – расчетная статическая характеристика; 2,3 – предельные положения статической характеристики при изменении химического состава обогащаемой руды из-за изменения соотношения между содержанием магнетита, маргита и гематита; β_{oi} – результат химического анализа отобранной i -й пробы на массовую долю общего железа; r_{Mi} – результат измерения сопротивления магнитного резистора в рабочей зоне сепаратора; $\bar{\beta}_0 = a + br_m$ – уравнение регрессии; a, b – коэффициенты уравнения регрессии.

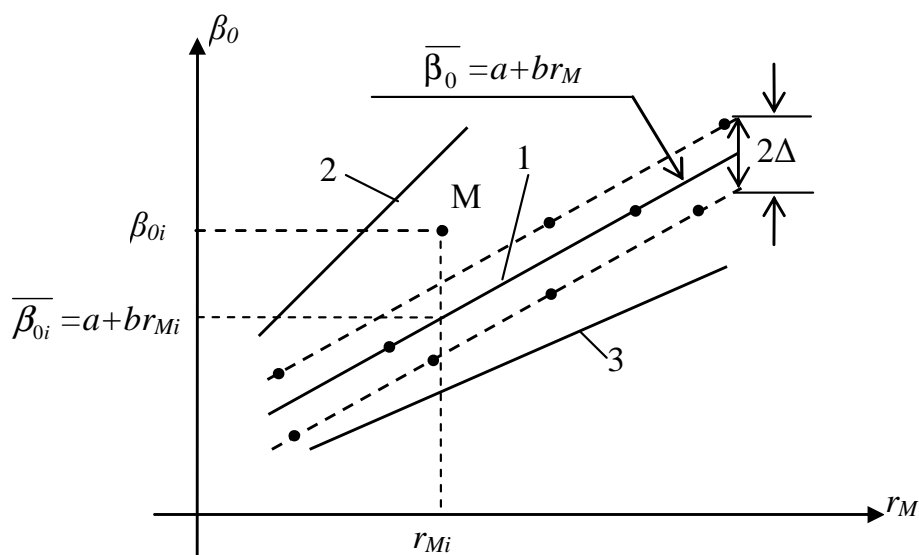


Рис. 1. Определение статической характеристики системы в виде уравнения регрессии

Статическая характеристика системы автоматического контроля массовой доли общего железа в концентрате определяется методом наименьших квадратов по результатам измерения величины сопротивления магнитного резистора в рабочей зоне сепаратора r_m и результатам химического анализа отобранных проб на массовую долю общего железа β_o . Критерий наименьших квадратов будет иметь вид:

$$\sum_{i=1}^n (\beta_{0i} - \bar{\beta}_{0i})^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где n – общее количество измерений.

Представим выражение (1) как:

$$F = \sum_{i=1}^n (\beta_{0i} - a - br_{Mi})^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Для нахождения неизвестных коэффициентов a и b возьмем частные производные функции F по этим коэффициентам и получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial a} = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial b} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Подставим значение этих производных в систему уравнений (3) и решим ее относительно a и b . Получим:

$$a = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \beta_{0i} - b \sum_{i=1}^n r_{Mi} \right); \quad (4)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n r_{Mi} \sum_{i=1}^n \beta_{0i} - n \sum_{i=1}^n r_{Mi} \beta_{0i}}{\left(\sum_{i=1}^n r_{mi} \right)^2 - n \sum_{i=1}^n r_{mi}^2}. \quad (5)$$

Статическая характеристика системы автоматического контроля массовой доли железа в концентрате будет следующая:

$$\beta_0 = a + br_M. \quad (6)$$

Коэффициенты a и b постоянно уточняются после каждого результата отбора и химического анализа пробы концентрата на общее железо. Первый результат анализа выводится из серии n измерений и заменяется последним результатом анализа. Таким образом, число опытных точек n остается постоянным. Одновременно выводится из серии измерений первый результат измерения магнитного сопротивления r_M и заменяется последним, соответствующим моменту времени отбора пробы. Так как пробы концентрата отбираются каждые два часа круглосуточно, то обновление базы данных для расчета уравнения регрессии (6) производится каждые два часа.

Для целей автоматического контроля качества концентрата истинное значение массовой доли общего железа в концентрате β_{0i} определяется путем подстановки в уравнение (6) значения магнитного сопротивления r_{mi} .

Точность системы автоматического контроля массовой доли железа в концентрате определяется доверительными интервалами $\pm\Delta$ уравнения регрессии (6):

$$\pm\Delta = t \cdot \delta^*, \quad (7)$$

где $\delta^* = \sqrt{\frac{\sum (\beta_{0i} - \bar{\beta}_{0i})^2}{n-2}}$ – остаточное среднеквадратическое отклонение; t – значение критерия Стьюдента, которое находится по таблицам математической статистики.

Результаты экспериментальных исследований показали, что предложенный способ коррекции статической характеристики системы автоматического контроля методом наименьших квадратов повышает точность измерения массовой доли общего железа в концентрате по величине магнитной индукции в рабочей зоне магнитного сепаратора в три раза, то есть с 15 до 5% относительных единиц.

Прогнозирование значения массовой доли железа в концентрате на период, равный эквивалентному запаздыванию секции обогащения, $\tau_0 = 2$ часа осуществляется по выражению [3]:

$$\beta_0^{\Pi}(t) = \frac{R_{\beta_0}(t-t_i)}{R_{\beta_0}(0)} [\beta_0(t_i) - M_{\beta_0}] + M_{\beta_0}, \quad (8)$$

где t – момент времени, на который прогнозируется значение массовой доли железа в концентрате; $t_i < t \leq t_{i+1}$, где t_i – момент предыдущего измерения, а t_{i+1} – момент времени последующего измерения; R_{β_0} – автокорреляционная функция стационарного случайного процесса изменения массовой доли железа в концентрате; M_{β_0} – математическое ожидание массовой доли железа в концентрате.

В условиях обогатительной фабрики период цикла опробывания $T_y = \tau_0 = 2$ часа, а момент времени t , на который осуществляется прогнозирование, $t = t_{i+1} = t_i + T_y$.

Прогнозируемое значение показателя качества концентрата выдается в систему оперативно-диспетчерского управления секцией обогащения обогатительной фабрики.

Если массовая доля железа в концентрате становится меньше минимально допустимого значения, то производительность секции по руде уменьшается.

Если массовая доля железа в концентрате становится больше максимально допустимого значения, то производительность секции по руде увеличивается.

Сравнение результатов химического анализа 25-ти технологических проб и соответствующих прогнозируемых значений массовой доли железа, выполненные на обогатительной фабрике обогащения Лебединского ГОКа, показали, что точность прогнозирования не превышает 7% относительных единиц.

Схема системы автоматического контроля массовой доли общего железа в концентрате представлена на рис. 2, где 1 – ванна сепаратора; 2 – барабан сепаратора; 3 – магнитная система сепаратора; 4 – блок стабилизированного питания мостовой измерительной схемы; 5 – аналогово-цифровой преобразователь; 6 – системный блок; 7 – монитор; 8 – химическая лаборатория; ω – угловая частота вращения барабана сепаратора; κ – слой концентрата на барабане; r_M – магнитный резистор; r_T – резистор температурной компенсации; $A B C D$ – вершины измерительного моста; β_0 , v – соответственно массовая доля общего железа в концентрате и хвостах; Q – производительность по твердому в питании магнитного сепаратора; R_1 , R_2 – измерительные сопротивления; β_{0i} – i -й результат химического анализа отобранной пробы концентрата; $\beta_0^H(t)$ – прогнозируемая величина массовой доли железа; r_{Mi} – i -й результат измерения сопротивления магнитного резистора; mA – миллиамперметр; СДУ – система диспетчерского управления обогатительной фабрикой.

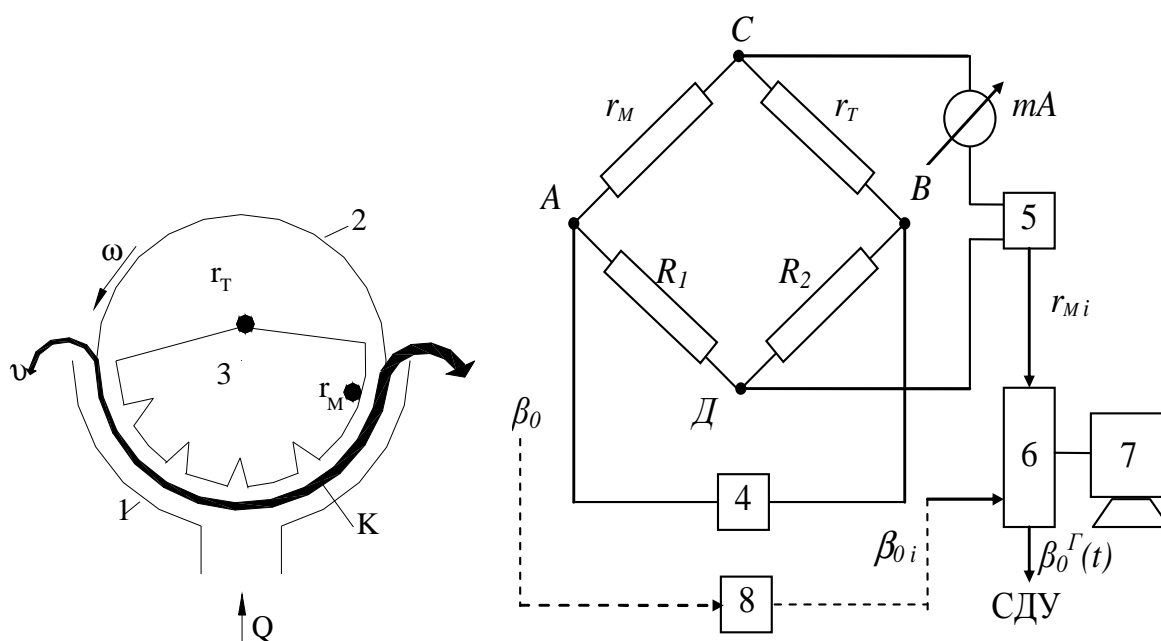


Рис. 2. Схема системы автоматического контроля

При изменении массовой доли β_0 железа в слое концентрата κ на поверхности барабана 2 изменяется и магнитная индукция в междупольном пространстве, где размещен магнитный резистор r_M , выполненный из висмутовой проволоки. Сопротивление r_m изменяется, что приводит к разбалансированию мостовой измерительной схемы. Между вершинами $C D$ начинает протекать ток, который регистрируется миллиамперметром mA и преобразуется аналогово-цифровым преобразователем 5 в цифровой код, пропорциональный величине

не результата измерения r_{Mi} . По формулам (4), (5) и уравнению регрессии (6) компьютер рассчитывает истинное значение массовой доли общего железа в концентрате β_0 , а по выражению (8) – значение массовой доли железа в концентрате $\beta_0^{II}(t)$ на период прогнозирования, равный запаздыванию секции обогащения, $\tau_0=2$ часа.

Прогнозируемое значение $\beta_0^{II}(t)$ передается в систему диспетчерского управления СДУ обогатительной фабрики. Диспетчер принимает решение об уменьшении или об увеличении производительности по исходной руде на входе секции обогащения.

Перспективы дальнейших исследований связаны с практической реализацией предложенной системы в промышленных условиях.

Выводы

1. Для повышения точности системы автоматического контроля массовой доли общего железа в концентрате необходима коррекция статической характеристики системы путем математической обработки (методом наименьших квадратов) результатов скользящих измерений массовой доли общего железа, полученных путем химического анализа отобранных технологических проб, и величины магнитного сопротивления, размещенного на поверхности полюсных наконечников в рабочей зоне сепаратора.

2. Для компенсации технологического запаздывания секции обогащения необходимо управлять производительностью секции по исходной руде с использованием величины прогнозируемого значения массовой доли общего железа в концентрате, причем эту функцию может выполнять компьютерная система автоматического контроля и регулирования массовой доли общего железа в концентрате по величине магнитной индукции в рабочей зоне сепаратора.

Список литературы

1. Козин В. З., Тихонов О. Н. Опробывание, контроль и автоматизация обогатительных процессов.– М.: Недра, 1995. – 343 с.
2. А. С.1375341 СССР. Способ автоматического контроля содержания магнитных фракций в процентах обогащения магнитного сепаратора/Е.В.Кочура//Открытия. Изобретения. – 1988.– №71. – 23-24 с.
3. Строганов Г. П. Управляющие машины и их применения – М.: Высш. шк., 1996.–260 с.