

Математические модели средств измерений для регулирования процесса обогащения калийной руды

Батюков С.В.

Кафедра теоретических основ электротехники
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
e-mail: batiukov@bsuir.by

Аннотация—Проанализированы методы контроля, используемые в средствах измерения для регулирования процесса обогащения калийной руды

Ключевые слова: математическая модель, флотация, технологический процесс, средства измерения, методы контроля.

Для регулирования процесса обогащения на РУП ПО «Беларуськалий» в настоящее время широко используется ручное управление по результатам измерений. При автоматизации технологического процесса представляется возможным заменить ручное управление автоматическим, сохранив существующие средства измерения. Для определения содержания массовой доли (м.д.) КСI в руде и продуктах обогащения используют лабораторные методы. Традиционный химический метод не пригоден для экспрессного анализа в виду его низкой производительности, ограничивающей массовость проведения анализов. Арбитражным на калийных производствах является тетрафенилборатный метод (абсолютная суммарная погрешность $\pm 0,32\%$ КСI). Метод основан на осаждении калия тетрафенилборатом натрия в уксусной среде и последующим высушиванием и взвешиванием полученного осадка тетрафенилбората калия.

Одним из методов определения содержания калия в продуктах обогащения для целей экспрессного и автоматического контроля наибольший интерес представляет радиометрический метод, основанный на измерении интенсивности естественного излучения калия. Содержащийся в калии изотоп K^{40} (около 0,012%), равномерно распределенный в массе стабильного изотопа K^{39} , испускает бета- и гамма-излучение. Период полураспада составляет $1,25 \cdot 10^9$ лет. Это позволяет считать активность калийных продуктов не зависящей от времени, и для определения содержания калия использовать радиометрический метод контроля. Газоразрядные счетчики Гейгера-Мюллера позволяют определять массовую долю КСI с погрешностью 2,0%. Для автоматического определения содержания хлористого калия в руде, концентрате и суспензиях на калийных фабриках используют сцинтилляционные детекторы. При этом используется линейная зависимость между величиной процентного содержания калия и его активностью. Регистрируемая частота импульсов

пропорциональна интенсивности излучения и тем самым содержанию калия. Взаимосвязь между частотой импульсов и содержанием калия определяется через прямую калибровки:

$$y = y_0 + Sx,$$

где y – зарегистрированная частота импульсов,
 x – содержание калия,
 S – чувствительность прибора, равная

$$S = \frac{dy}{dx}.$$

Измерительный зонд может устанавливаться либо на наружной стенке емкости с измеряемым продуктом, либо внутри измеряемого объема продукта. Для контроля плотности суспензий наибольшее распространение получили радионуклидные плотнометры. Принцип действия радионуклидного плотнометра основан на поглощении части излучения при прохождении через вещество

$$I = I_0 e^{-\mu_m \rho d},$$

где I_0 – начальная интенсивность излучения,
 I – интенсивность потока излучения, прошедшего через вещество,

μ_m – массовый коэффициент поглощения,
 ρ – плотность вещества,
 d – толщина слоя вещества.

В качестве источника гамма-излучения в основном используется цезий сто тридцать семь, который устанавливается в защитный экран с тонким коллиматором, в качестве приемника – сцинтилляционный детектор. Основная приведенная погрешность измерения составляет 3-5%.

Среди методов контроля состава и концентрации солевых растворов и суспензий интерес представляет кондуктометрический метод, основанный на измерении электропроводности жидких сред. Производственные растворы являются преимущественно концентрированными растворами сильных электролитов. Электрическая проводимость растворов электролитов определяется подвижностью ионов и их концентрацией. Присутствие в суспензии нерастворимого остатка, а также небольших количеств реагентов не влияет на вид зависимости концентрации твердого от отношения электропроводности суспензии к электропроводности чистого раствора. Для этого используется кондуктометр с чувствительным элементом

трансформаторного первичного преобразователя, выполненного в виде тора, или кондуктометр с индуктивной измерительной ячейкой.

Массовый расход руды, концентрата измеряют тензометрическими конвейерными весами. При использовании тензометрических весов необходимо учитывать ряд технических особенностей конвейера. Например, наклон конвейерной ленты. Это ограничивает применимость тензометрических весов и накладывает дополнительную погрешность измерения, а при угле наклона более 40 градусов использовать тензометрические весы нельзя.

Для контроля количества и качества руды на ленте конвейера перспективным является использование радиометрических конвейерных весов. Для измерения не только массовой доли калия, но и нерастворимого остатка перспективным является использование рентгено-флуоресцентных анализаторов (РФА). В последние годы появились новые средства измерений, позволяющие контролировать параметры процесса с высокой точностью. В основном используется два вида рентгеновских спектрометров: кристалл-дифракционные и энергодисперсионные. Кристалл-дифракционные спектрометры имеют очень точную и сложную механику (гонометры), что приводит к дополнительным трудностям, т.к. малейшее отклонение позиционирования приводит к значительным погрешностям. Одной из наиболее трудно решаемых проблем рентгеноспектрального флуоресцентного анализа является преодоление влияния гетерогенности образца на величину интенсивности рентгеновской флуоресценции. При использовании РФ-анализаторов для контроля массовой доли КС1 в суспензии в производственных условиях используют проточную кювету. Кювета имеет окно, закрытое майларовой пленкой, источник излучения, который возбуждает атомы вещества. Обратное характеристическое излучение через майларовую пленку регистрируется пропорциональным счетчиком. Дальнейшая обработка информации производится с учетом энергии импульсов в соответствии с калибровкой электронного блока анализатора. При создании системы автоматического управления технологическим процессом обогащения целесообразно использовать упрощенные модели измерительных приборов, учитывающие их основные свойства и связывающие значения входных и выходных величин. Модель конвейерных весов можно представить в виде линейного безынерционного звена:

$$y = (K_1 + K_2(pr))x + \delta_y x,$$

где y – показания весов,

x – действительное значение массы,

K_1 – чувствительность,

$K_2(pr)$ – коэффициент, учитывающий влияние геометрии профиля руды на конвейере,

δ_y – относительная погрешность, обусловленная другими причинами.

Рассмотрим модель сцинтилляционного датчика

измерения содержания КС1. Как правило, систематическая погрешность y_0 компенсируется электронной схемой датчика, однако точность измерений обратно пропорциональна времени счета импульсов. Поэтому целесообразно представить датчик либо в виде инерционного звена, описываемого выражением:

$$y = \frac{Sx}{1 + pT},$$

где y – показания датчика,

x – процентное содержание КС1,

T – постоянная времени,

p – оператор дифференцирования,

S – крутизна преобразования,

либо в виде интегрально-дифференциальной модели:

$$y = \frac{K_1 \cdot x \cdot (1 + pT_1)}{1 + pT_2} + K_2 \cdot x \cdot (1 + pT_3),$$

которая позволяет учесть более сложный закон изменения погрешности с течением времени.

В общем модель «химического измерительного прибора» можно представить в виде последовательного соединения двух звеньев: звена с апериодической передаточной функцией вида

$$H(j\omega) = \frac{K}{1 + j\omega T} \text{ и квантователя (рисунок 1).}$$

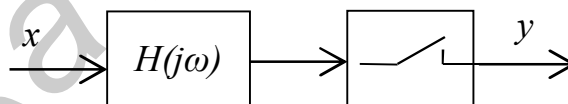


Рис. 1 Функциональная схема эквивалентного «химического измерительного прибора»

При определении коэффициентов моделей необходимо учитывать, что отличительной особенностью условий эксплуатации измерительной аппаратуры на калийных фабриках является высокая агрессивность технологических сред. Повышенная влажность воздуха, наличие в воздухе агрессивных паров и пыли ухудшают электрические характеристики изоляционных материалов и способствуют усиленной коррозии. Также на аппаратуру действуют вибрационные и ударные нагрузки. В связи с этим активно происходят процессы старения, вызывающие изменения коэффициентов чувствительности приборов, повышение погрешности измерений.

[1] Глембоцкая, Т.В. Возникновение и развитие флотации / Т.В. Глембоцкая. – М.: Наука, 1984. – 112 с.

[2] Глембоцкий, В.А. Флотационные методы обогащения: Учебник для вузов по спец. «Обогащение полезных ископаемых». – М.: Недра, 1981. – 304 с. (1.24)

[3] Минерализация пузырьков во флотационном процессе / Кондратьев С. А. // Физ.-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых. – 2004. – № 1. – С. 99-107.

[4] Исследование процесса флотации с использованием компьютерных методов анализа / Gong Wei-jin, Cai Jian-an, Li Ling//Gongye yongshui yu feishui // Ind. Water and Wastewater. – 2004. – № 6. – С. 60-62. – Кит.; реэ. англ

[5] Андреев, Е.Е. Применение компьютерных программ для расчетов технологических схем обогащения / Е. Е. Андреев,