

УДК 674. 681-5-08

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОИЗОТОПНЫХ ТОЛЩИНОМЕРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПРИСТЕНОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВНУТРЕННИХ СТЕНКАХ ЦИКЛОНА

Басова Е.В., Часовских В.П.*ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург,
e-mail: Lilo_79@mail.ru*

Процесс очистки внутренних стен циклона от отложений мелкодисперсной древесной пыли – процесс сложный и трудоемкий. Для автоматизации системы был рассмотрен радиоизотопный метод измерения толщины пристеночных отложений. Описываются градуировочные характеристики системы, в частности, радиоизотопных измерителей толщины пристеночных пылевых отложений. Даны описания характерных и специфических особенностей приборов, работающих по принципу радиоизотопных методов. Также в статье описаны основные функции устройств, обрабатывающих сигналы с радиоизотопного прибора, при условии необходимости применения источников с минимальными уровнями радиации. Приведены математические уравнения для упрощения расчетов радиоизотопных измерителей толщины. Обосновано, почему для управления системой используется стандартный регулятор, автоматически отыскивающий и поддерживающий значения регулирующих воздействий.

Ключевые слова: радиоизотопные методы, погрешность, диапазон

USE OF RADIO ISOTOPE DEVICES FOR DEFINITION OF THE THICKNESS OF ADJOURNMENT ON INTERNAL WALLS OF THE CYCLONE

Basova E.V., Chasovskikh V.P.*Ural State Timber University, Ekaterinburg, e-mail: Lilo_79@mail.ru*

Process of clearing of internal walls of a cyclone, from adjournment of a small wood dust, process difficult and labor-consuming. For system automation the radio isotope method of measurement of a thickness of adjournment on cyclone walls has been considered. Settlement characteristics of system, in particular radio isotope measuring instruments of a thickness of dust adjournment are described. Descriptions of characteristic and specific features of devices of radio isotope methods working by a principle are given. As in article the basic functions of the devices processing signals from the radio isotope device, under condition of necessity of application of sources with radiation minimum levels are described. The mathematical equations for simplification of calculations of radio isotope measuring instruments of a thickness are resulted. It is proved why for management of system in general the standard regulator automatically finding and supporting values of regulating influences.

Keywords: radio isotope methods, an error, a range

Пылегазовые потоки, состоящие из частиц древесной мелкодисперсной пыли, и характерные условия конструкции деревообрабатывающих циклонов устанавливают некоторые особенности очистки внутренних стен, к которым можно отнести вибрационный или комбинированный способ [3].

В деревообрабатывающей и мебельной промышленности для измерения толщины отложений мелкодисперсной пыли применяется много различных способов, от механических до сложнейших, основанных на сложных физических явлениях, таких как оптическая дифракция, ядерно-магнитный резонанс. При выборе метода необходимо руководствоваться такими показателями, как диапазон измерений, материалы, фракция исследуемого газопылевого потока, требования точности к измерениям, а также рабочим условиям. В нашем случае рабочие условия достаточно жесткие, как было рассмотрено выше, а требования к точности измерения не столь велики, допускаемая погрешность измерений может колебаться в пределах 15–20%. Это позволяет нам сразу отказаться от таких методов, как ме-

ханический и оптический. Более подробно рассмотрим некоторые косвенные методы.

1. Гидро-газодинамический метод, рассматривающий пропускную способность циклона в зависимости от толщины отложений на внутренних стенках. Данный метод достаточно прост, отлично подходит для решения поставленной задачи. Недостаток гидро-газодинамического метода – ограниченность измерений и слишком большая погрешность.

2. Метод, основанный на определении накопленной массы отложений по резонансной частоте механических колебаний циклона. Этот метод прост в работе, он дает интегральную оценку толщины слоя. По своему существу он наиболее отдален от исследуемых явлений. Основной недостаток данной методики – достаточно большая неточность значений исследуемых параметров.

Недостаток обоих методов, вынуждает нас провести исследования для поиска оптимального решения поставленной задачи. Для нашей системы рассмотрим более подробно, для измерения, контроля и кали-

бровки разработанной системы, радиоизотопный метод [2].

Приборам, которые работают на принципе радиоизотопных методов, присущи важные специфические особенности:

1) обеспечение надежного бесконтактного контроля величин в максимальном диапазоне рабочих условий, таких как давление, температурная среда и т.п.;

2) излучение проникает насквозь стен большой величины, из различного материала, без значимой погрешности сигнала. Данная особенность позволяет крепить детекторы на внешней стене циклона;

3) ионизированное излучение получает данные об изотопном составе и химических составляющих исходного вещества, в данном случае мелкодисперсной древесной пыли;

4) радиационный сигнал при радиоизотопном методе не канализируется. Дистанционная передача может быть осуществлена только с учетом потерь интенсивности, информационная составляющая сигнала также несет искажения;

5) радиоизотопные методы требуют выполнения абсолютно всех жестких требований, норм и правил радиационной защиты. Этот пункт предусматривает необходимость применения источников с минимальными уровнями радиации.

Проводя анализ особенностей приборов при радиоизотопном методе, необходимо отметить следующее:

Если принимать во внимание преимущественное применение радиационных методов именно в рабочих условиях циклонов деревообрабатывающей промышленности, то наиболее подходящие первые две особенности приборов, в особенности эффективности размещения аппаратуры.

Если отталкиваться от энергетического спектра (рис. 1), то именно третья особенность приборов, которые работают на принципе радиоизотопных методов, располагает к наиболее подробным и точным ответам на вопросы интерпретации результатов контроля и корректировки метрологических данных аппаратуры.

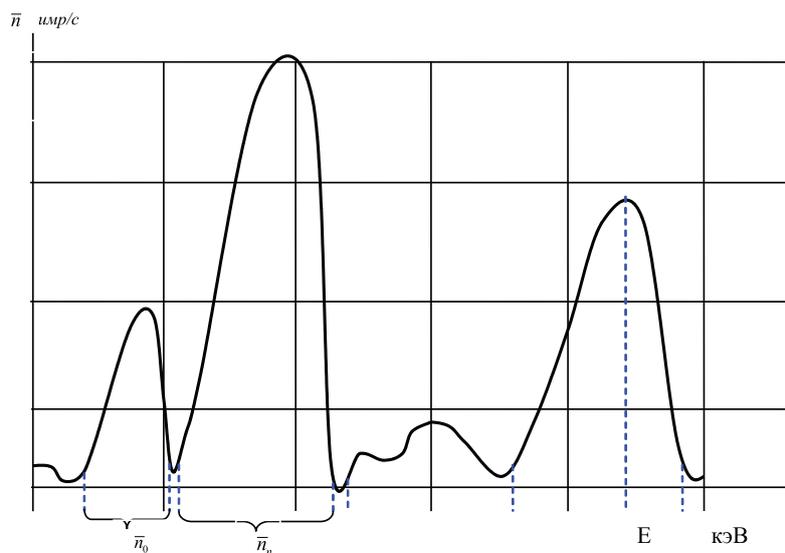


Рис. 1. Энергетический спектр, который регистрирует детектор радиоизотопного толщиномера

При более детальном рассмотрении четвертой и первой составляющей пятой особенности, нельзя не заметить, что появляется необходимость более внимательно изучить вопросы первичного преобразования сигнала и перевода информации детекторов излучения в электрический сигнал дискретного типа, обязательно прямо на месте установки датчиков.

Рассмотрев частично пятую особенность приборов, опишем ее вторую составляющую, которая заключается в применении источников минимальной плотности

энергии. При этом велико острое проявление вероятностного характера закона генерации квантов, их распределения в пространстве и во времени. Это вынуждает применять чувствительную, усиливающую и регистрирующую аппаратуру, проявляется высокое влияние случайных отклонений наблюдаемых физических величин от их средних значений.

При использовании дискретных детекторов ионизирующего излучения информативным параметром является количество или частота импульсов, амплитуда

импульса в данном случае остается неизменной в пределах одного определенного диапазона. В последующем, при передаче и обработке информативного потока, импульсы подвергаются усилению и форматированию.

В детекторах сцинтилляционного типа радиационный сигнал преобразуется в оптический и в последующем посредством фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) – в электрический, для дальнейшего усиления и преобразования.

Основной функцией устройства, обрабатывающего сигналы с радиоизотопного прибора, при условии жесткой необходимости применения источников с минимальными уровнями радиации, является усредняющее преобразование сигнала. На вход блока обработки информации поступает случайный сигнал, главный информативный параметр которого – средняя частота поступления импульсов [6]:

$$n_{cp} = f(X), \quad (1)$$

где X – измеряемый параметр.

В таком случае при обработке информативного потока будет использоваться измеритель средней частоты (ИСЧ). Максимально точными и удобными в данном случае считаются цифровые ИСЧ, работающие методом нормируемого счетчика. Цифровые ИСЧ подсчитывают за интервал T количество входных импульсов N .

$$N = n_{cp} \cdot T. \quad (2)$$

$$n_{cp} = n_0 + (n_{II} - n_0) \left\{ 1 - \exp \left[-(\mu_1 + \mu_2) \rho X \right] \right\}, \quad (6)$$

где n_0 – средняя частота импульсов после дискриминатора при отсутствии пристеночных отложений мелкодисперсной пыли, 1/с; n_{II} – средняя частота импульсов после дискриминатора при сплошном слое отложений мелкодисперсной пыли, цельным полотном покрывшим внутренние стенки циклона, 1/с; μ_1 – коэффициент ослабления возбуждающего излучения в слое отложений мелкодисперсной пыли, м²/кг; μ_2 – коэффициент ослабления характеристического излучения в слое отложений мелкодисперсной пыли, м²/кг; ρ – плотность слоя мелкодисперсной пыли, кг/м³; X – толщина слоя мелкодисперсной пыли, м.

Преобразуя формулу (6), имеем:

$$n_{cp} = n_{II} + A \cdot \left[1 - \exp(-a \cdot X) \right], \quad (7)$$

где A – коэффициент средней частоты импульсов после дискриминатора, 1/с,

$$A = n_{II} - n_0; \quad (8)$$

Для статистических величин, подчиняющихся распределению Пуассона, среднеквадратическое отклонение равно:

$$\sigma = \sqrt{N}. \quad (3)$$

Случайная погрешность характеризуется двумя параметрами:

- 1) величина самой погрешности;
- 2) доверительная вероятность.

Максимальную погрешность согласно формулам (2) и (3), а также «правилу трёх сигма» можно выразить как:

$$\Delta_{max} = 3\sqrt{n_{cp} \cdot T}. \quad (4)$$

Относительную статистическую погрешность (коэффициент вариации) определяют из зависимости

$$W = \sigma / 1 = N / \sqrt{N}. \quad (5)$$

С уверенностью можно сказать, что снижение значения погрешности достигается путем увеличения значения средней частоты импульсов, или другими словами, интенсивности источника излучения (не нарушая норм и требований по радиационной безопасности), а также повышения значений времени измерений [2]. При рассмотрении нашего случая, оптимальное значение погрешности измерения около 20%, если учесть скорость налипания отложений мелкодисперсной пыли на внутренних стенках циклона, принимаем интервал в районе 20–30 секунд.

Зависимость средней частоты импульсов от толщины слоя мелкодисперсной пыли на внутренних стенках циклона можно выразить уравнением

a – показатель экспоненты.

$$a = (\mu_1 + \mu_2) \rho. \quad (9)$$

Из уравнения (7) следует, что зависимость средней частоты импульсов от толщины измеряемого слоя пылевых отложений на внутренних стенках циклона – экспоненциальная. При этом номинальная статическая характеристика преобразователя определяется уравнением (10), которое выражает закон преобразования информации в измерительном устройстве.

$$X = \frac{1}{a} \cdot \ln \left[\frac{A}{A + n_0 + n_{cp}} \right]. \quad (10)$$

Точное число импульсов, которое обозначило и сосчитало устройство обработки информации с учетом (2) и (7), равно:

$$N = n_0 \cdot T + AT \left[1 - \exp(-aX) \right]. \quad (11)$$

Из данного уравнения следует что, номинальная статическая характеристика преобразования будет равна:

$$X = \frac{1}{a} \cdot \ln \left\{ \frac{1}{\left[\frac{1 - (N + N_0)}{AT} \right]} \right\}. \quad (12)$$

Где общее число квантов, проходящих в единицу времени через площадку единичного сечения:

$$N_0 = n_0 \cdot T. \quad (13)$$

Для кусочно-линейной аппроксимации уравнения (13) необходимо расписать выбор координат точек перегиба, число линейных отрезков и углы их наклона. При цифровом представлении результатов опыта погрешность обоснована интервалами дискретности и будет задана отношением или в процентном соотношении от верхнего значения диапазона измерения [2]. Аппроксимацию данной логарифмической зависимости лучше всего осуществлять с постоянным значением погрешности.

$$\delta_{\max} = K_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{K_1} + \ln \left(1 - 1 - \frac{1}{K_1} \right) \right) = K_1 - \ln(K_1 - 1). \quad (19)$$

Точка перехода первого отрезка во второй получается из выражения

$$\sigma = \ln \left\{ \left[\frac{1}{1 - \zeta_1} \right] - K_{11} \cdot \zeta \right\}. \quad (20)$$

Второй отрезок аппроксимации получаем из выражения:

$$aX - aX_1 = K_2 \cdot (\zeta - \zeta_1). \quad (21)$$

Погрешность на этом участке:

$$\sigma = aX_1 + K_2(\zeta - \zeta_1) - \ln \left[\frac{1}{1 - \zeta} \right]. \quad (22)$$

Максимальное значение погрешности будет находиться в точке, где первая производная $\frac{d\sigma}{d(aX)} = 0$:

$$\zeta = 1 - \frac{1}{K_2}. \quad (23)$$

Максимальное значение погрешности на втором участке:

$$\sigma_{\max} = aX_1 + K_2(1 - \zeta_1) - \ln(K_2) - 1. \quad (24)$$

Введем новое обозначение:

$$\zeta = \frac{N - N_0}{AT}. \quad (14)$$

Тогда выражение (12) будет:

$$aX = -\ln(1 - \zeta). \quad (15)$$

Принцип замены одних математических объектов другими, в том или ином смысле близкими к исходным, объясняет рис. 2. Первый отрезок проходит через начало координат:

$$aX = K_1 \cdot \zeta. \quad (16)$$

Абсолютная погрешность в этом случае:

$$\delta = K_1 \cdot \zeta + \ln(1 - \zeta). \quad (17)$$

Максимальное значение погрешности будет располагаться в той точке, в которой первая производная $\frac{d\sigma}{d(aX)} = 0$, в этом случае наблюдаем выполнение условия:

$$\zeta = 1 - \frac{1}{K_1}. \quad (18)$$

Максимальная погрешность на первом участке аппроксимации, таким образом, равна:

Момент перехода второго отрезка в третий отрезок определяется из:

$$\sigma = \ln \left[\frac{1}{1 - \zeta_2} \right] - aX_1 - K_2(\zeta_2 - \zeta_1). \quad (25)$$

Уравнения (21, 25) выражают точки σ_2 и aX_2 перехода второго отрезка в третий. Точку пересечения i -го и $(i + 1)$ -го аппроксимирующих отрезков можно определить:

$$\sigma_i = \ln \left[\frac{1}{1 - \zeta_i} \right] - aX_{i-1} - K_1 \cdot (\zeta_i - \zeta_{i-1}). \quad (26)$$

$$aX_i = aX_{i-1} - K_i(\zeta_i - \zeta_{i-1}). \quad (27)$$

Делая вывод из вышеприведенного, видим, что параметры искомой аппроксимирующей ломаной определяются с помощью программируемых рекуррентных формул.

Работа электроприводов деревообрабатывающих циклонов требует достаточного диапазона реализуемой мощности, к которой прибавляются требования обеспечения ровного регулирования скорости и оптимальности сопряжения с цифровым экстремальным регулятором системы [6]. После проведенного выше анализа исполнитель-

ных механизмов на основе микропроцессорных контроллеров с силовой тиристорной электроникой приведем блок-схему данного типа.

Управление системой ведется с помощью стандартного регулятора, автоматически отыскивающего и поддерживающего такие значения регулирующих воздействий, при которых показатель качества работы регулируемого объекта достигает экстремаль-

ного значения. Обработка сигналов управления по экстремальной функции нагрузочного момента $P = P(M_H)$, происходит автоматически системой. Потеря экстремума происходит при переходе из одного устойчивого состояния в другое. Во избежание скачкообразных изменений нагрузки рекомендуется принимать тарировочную зависимость напряжения питания двигателя от тока якоря при оптимуме нагрузки (рис. 3).

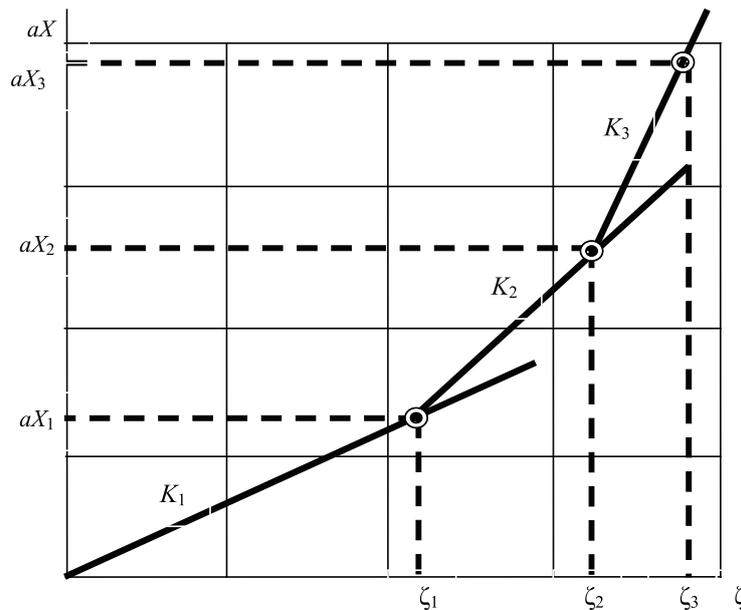


Рис. 2. Аппроксимация градуировочной характеристики

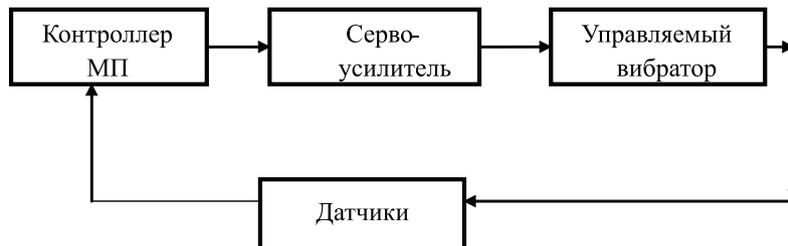


Рис. 3. Структура электропривода

Обеспечение необходимой зависимости в соединении точек минимума нагрузочной характеристики (кривая 1) между собой плавной кривой (линия 2). Во время изменения нагрузки происходит переход системы в другое (новое) равновесное состояние, которое соответствует кривой $U = f(I, P_{\text{опт}})$, при этом экстремальный регулятор временно отключается [1]. Происходит определение новой рабочей точки внешним регулятором, и работа экстремальной системы снова продолжается.

Управление по внешнему контуру осуществляется методом разбиения всего диапазона управления на ряды поддиапазонов, в каждом из которых необходимо установить индивидуальное номинальное значение $U = f(I, P_{\text{опт}0})$, которое будет соответствовать $P_{\text{опт}}$. Блок поиска БП (рис. 5) обеспечивает ступенчатую настройку $U = U_{\text{опт}}$, обеспечивает скачкообразную установку U_0 , далее экстремальный регулятор запускает ровный поиск оптимума в новом нагрузочном диапазоне.

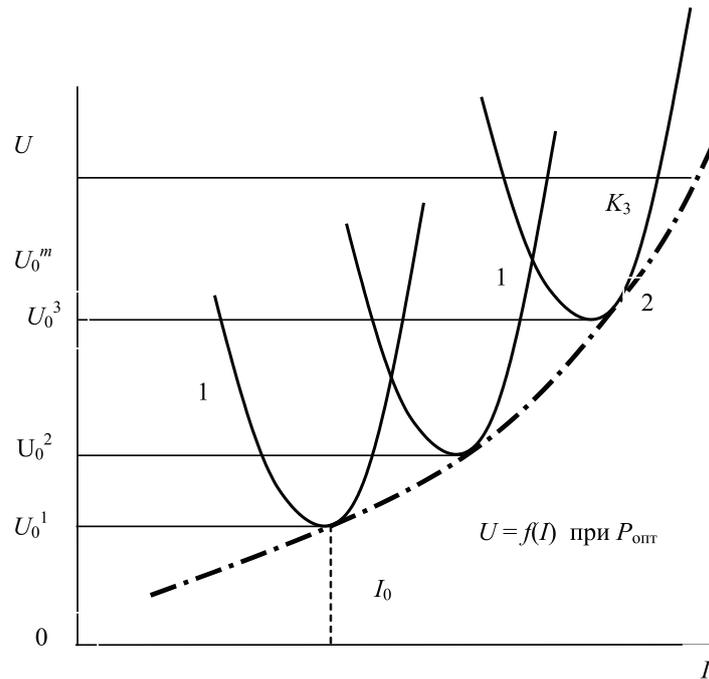


Рис. 4. Тарировка привода исполнительнй системы

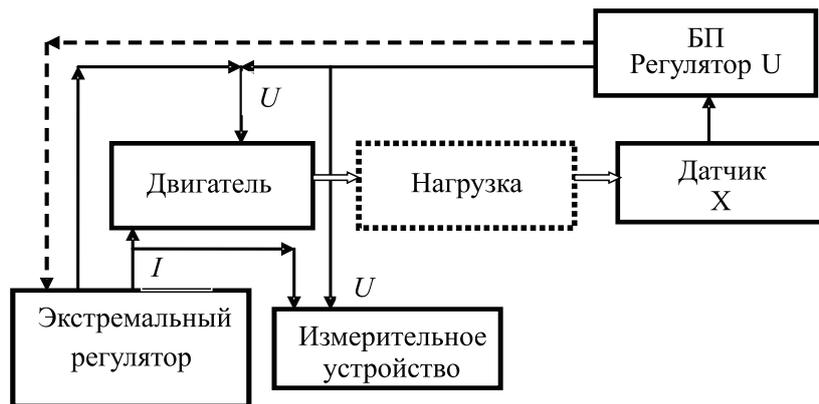


Рис. 5. Структура управляющей части исполнительного механизма системы

Список литературы

1. Ветлугин М.М. Способ повышения точности цифровых систем автоматического управления // Информационные технологии в задачах управления и обучения. – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – С. 12–16.
2. Ветлугин М.М., Атаев К.И. Организационные задачи строительных технологий // Теория и средства автоматизации управления. – М.: МАДИ (ГТУ), 2004. – С. 70–74.
3. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки: учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005.
4. Математические методы в автоматизации технологических процессов строительства / В.А. Воробьев, Р.Г. Барский и др. – Алматы: Гылым, 1997.
5. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М. Очистка от пыли и газов воздуха в химической промышленности. – Л.: Химия, 1982.

6. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Стройиздат, 1981.

Рецензенты:

Котляревская И.В., д.э.н., профессор, зав. кафедрой менеджмента ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург;

Лабунец В.Г., д.т.н., зав. кафедрой «Теоретические основы радиотехники» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 12.12.2011.