

## СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

**Кушнаренко Т.Н., студентка; Вовна А.В., к.т.н., доц., Зори А.А., д.т.н., проф.**  
(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Причины большого числа аварий на угольных шахтах, связанных с взрывами метана и угольной пыли, объясняется недостаточной метрологической надежностью используемых существующих средств контроля. Существующие методы и средства не обеспечивают необходимое быстродействие и требуемую точность измерителей концентрации метана в рудничной атмосфере горных выработок угольных шахт. Измеритель должен быть малоинерционным с широким динамическим диапазоном и нечувствительным к влиянию основных возмущающих факторов рудничной атмосферы угольных шахт.

**Цель работы** является повышение быстродействия измерителей концентрации метана на основе термокatalитического метода с использованием аппаратно-алгоритмической избыточности.

**Постановка задачи.** При работе измерителя концентрации метана в условиях запыленности рудничной атмосферы угольных шахт увеличивается погрешность измерения концентрации метана. Для получения необходимых показателей точности измерителя газовую смесь прокачивают через фильтры очистки. Используются металлокерамические фильтры очистки с постоянной времени фильтра порядка 1 с., при этом необходимое быстродействие измерителя концентрации метана должно быть не более 0,8с.[1], что приводит к ухудшению динамических свойств измерителя.

Для снижения динамической погрешности измерителя концентрации метана необходимо уменьшить постоянную времени фильтра, что приводит к запылению измерительной системы. В основе предложенного способа поставлена задача усовершенствования способа измерения концентрации метана [2] в условиях угольных шахт, в котором за счет использования фильтров очистки достигаются необходимые статические показатели точности измерения концентрации газа, а для компенсации динамической погрешности используются программные методы цифровой обработки результатов измерений.

**Основная часть.** Динамическая погрешность измерений зависит от постоянной времени измерительного преобразователя концентрации метана, а также скорости изменения концентрации метана. Компенсация динамической погрешности является обратной задачей к восстановлению входного сигнала с известной информацией об аппаратной функции ( $W$ ) измерительного преобразователя [3]. Рассмотрим задачу изменения мгновенных значений концентрации метана  $C(t)$ , которая преобразовывается измерительным преобразователем в сигнал  $U(t)$  на его выходе (см. рис. 1). При динамических измерениях интерес представляет не выходной сигнал напряжения или тока измерительного преобразователя  $U(t)$ , а концентрация метана  $C(t)$ . Поэтому задачей обработки результатов является определение значений концентрации метана  $C(t)$  по выходному сигналу  $U(t)$  и оператору  $W$ , который описывает динамические свойства измерительного преобразователя, является решением задачи коррекции его аппаратной функции. Проще такая задача решается

реализацией оператора  $W^{-1}$ , который является обратным оператору  $W$ , с использованием корректирующей цепочки (КЦ) (см. рис.1) в аппаратном или программном виде, который обрабатывает сигнал  $U(t)$ .

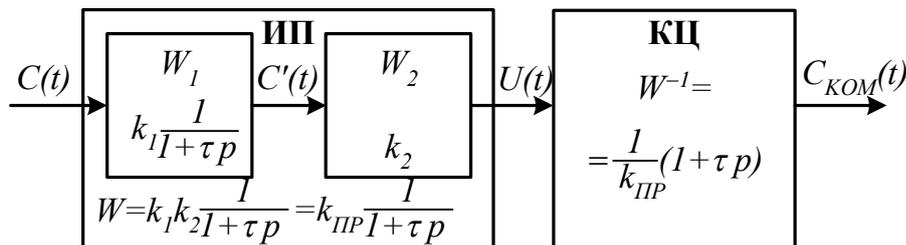


Рисунок - 1. Структура термокаталитического измерителя метана с динамической коррекцией погрешности измерений

В связи с этим корректное решение обратной задачи при измерении динамических параметров может быть выполнено, если предположить определенное запаздывание в формировании значений сигнала  $C_{КОМ}(t)$  на выходе корректирующей цепи, что не требует реализации функции прогноза. Инерционный измерительный преобразователь имеет передаточную функцию, которая соответствует передаточной функции апериодического звена первого порядка [2]:

$$W(p) = \frac{U(p)}{C(p)} = \frac{k_{ИП}}{1 + \tau \cdot p} \quad (1)$$

где  $k_{ИП}, В/^{об.}\%$  – коэффициент преобразования измерителя из значения электрического сигнала, например напряжения, в значение концентрации метана;  $\tau$ , с. – постоянная времени измерительного преобразователя с фильтром очистки анализируемой газовой смеси от пыли;  $p$  – оператор Лапласа.

Дифференциальное уравнение, описывающее этот измерительный преобразователь, имеет следующий вид:

$$\tau \cdot \frac{dU(t)}{dt} + U(t) = k_{ИП} \cdot C(t). \quad (2)$$

Передаточная функция (1) устанавливает зависимость между выходным и входным сигналами, которые произвольно изменяются во времени. Преобразованная передаточная функция (1) позволяет упростить формулу для числовых последовательностей, поэтому имеет место следующее преобразование:

$$z\{U(t_k)\} = \tilde{W}(z) \cdot z\{C(t_k)\},$$

где  $z$  – преобразование входной последовательности. Выходная последовательность получена путем соответствующего обратного преобразования Лапласа:

$$U(z) = k_{ИП} \cdot C(z) - \tau \cdot z^{-1} \cdot U(z).$$

Используя описание цепи задержки  $z^{-1}$  в дискретной области  $U_k = U_{k-1}$  [2], полученная рекуррентная формула для расчета выходной последовательности сигнала измерителя концентрации метан в дискретные моменты времени:

$$U_{k+1} = k_{ИП} \cdot C_{k+1} - \tau \cdot \frac{U_k}{\Delta t}, \quad (3)$$

где  $\Delta t$ , с. – шаг дискретизации во времени выходных электрических сигналов.

При заданных начальных условиях  $U(t_0) = 0$  и  $C(t_N) = 0$ , соотношение (3) можно использовать как рекуррентную формулу для расчета выходной последовательности

измерительного преобразователя. Передаточная функция корректирующей цепи принимает следующий вид:

$$W^{-1}(p) = \frac{C_{КОМ}(p)}{U(p)} = \frac{1}{k_{ПП}} \cdot (1 + \tau \cdot p). \quad (4)$$

Таким образом, корректирующая цепочка должна реализовывать функцию дифференцирования выходного сигнала измерителя концентрации метана  $U(t)$  и сложение его производной с самим исходным сигналом (см. рис. 2).

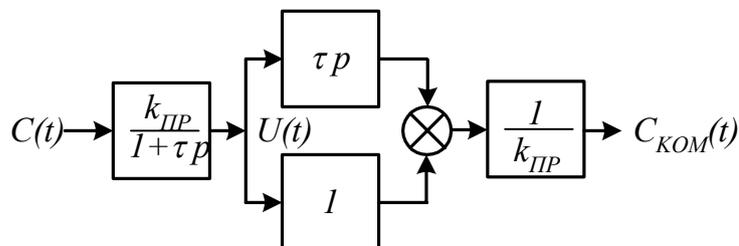


Рисунок - 2. Структурная схема корректирующей цепи измерителя концентрации метана

Разностное уравнение корректирующей цепи в дискретные моменты времени имеет следующий вид [2]:

$$C_{k+1} = \frac{1}{k_{ПП}} \cdot \left( U_{k+1} + \tau \cdot \frac{U_k}{\Delta t} \right). \quad (5)$$

#### Выводы.

1. Использование компенсации динамической погрешности с помощью программных методов цифровой обработки результатов позволяет выполнять измерение концентрации метана в квазиреальном масштабе времени.

2. Предложенный способ позволяет повысить быстродействие измерителей концентрации метана при необходимой точности измерения. За счет использования фильтров очистки достигаются необходимые статические показатели точности измерения концентрации метана, а для компенсации динамической погрешности используются программные методы цифровой обработки результатов измерения.

3. Использование разработанного способа в стационарных измерителях концентрации метана позволяет увеличить достоверность выявления и контроля взрывоопасных концентраций при внезапных выбросах метана в угольных шахтах.

#### Перечень ссылок

1. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания: ДСТУ ГОСТ 24032:2009. – [Действующий от 2009-02-01]. – К.: Держспоживстандарт, 2009. – 24 с.

3. Вовна О.В. Спосіб компенсації динамічної похибки інфрачервоного вимірювача концентрації метану для вугільних шахт / О.В. Вовна, А.А. Зорі, М.Г. Хламов // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов «Электроэнергетика и преобразовательная техника». – Харьков, 2010. – № 12. – С. 65 – 70.

3. Таланчук М.П. Средства измерения в автоматических информационных и управляющих системах: [учебник] / П.М. Таланчук, Ю.А. Скрипник, В. Дубравный. - М.: Радуга, 1994. – 672 с.