

УДК 622.412.13:681.5.08

Е.Н. Новиков (канд. техн. наук, доц.)

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра «Горная электротехника и автоматика им. Р.М. Лейбова»
E-mail: e1313@i.ua,

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ МЕТАНА В ШАХТАХ ОПАСНЫХ ПО ВНЕЗАПНЫМ ВЫБРОСАМ

Выполнен анализ переходных процессов в первичных преобразователях контроля метана. Рассмотрены факторы, влияющие на метрологические параметры первичных преобразователей контроля метана в угольной промышленности. Показано, что основной датчик должен быть высокостабильным, а дополнительный малоинерционным.

Ключевые слова: рудничная атмосфера, метан, переходные процессы, датчик, контроль.

Общая постановка проблемы

Среди всех видов аварий особую опасность представляют взрывы метано-воздушных смесей и угольной пыли. Они приводят к групповым несчастным случаям со смертельным исходом, большим разрушениям горных выработок, оборудования и оснащения. Одним из наиболее опасных явлений, приводящим к образованию взрывоопасных газовых смесей, являются внезапные выбросы угля, породы и газа. При выбросах содержание метана в горной выработке за относительно короткий промежуток времени может достигать 100%. Скорость нарастания содержания метана в выработке при этом иногда составляет 5 %/с [1].

Для предотвращения взрывов метана и удушья рабочих при газодинамических явлениях особое значение имеет контроль содержания метана в рудничной атмосфере. В условиях шахт, разрабатывающих пласты, опасные по внезапным газодинамическим явлениям, анализаторы метана, предназначенные для использования в качестве средств газового контроля и отключения электроэнергии, согласно [2], должны обеспечивать время срабатывания защиты по объемной доле метана не более 0,8 с. Кроме того, для таких анализаторов дополнительно вводится требование ко времени срабатывания по скорости нарастания объемной доли метана, которое при скорости 0,5%/с не должно превышать 2 с [2].

Постановка задач исследования

Для исследования динамических процессов в системе автоматического управления насосной установкой необходимо решить следующие задачи:

- 1) Получить математическое описание и провести моделирование исходного объекта при различных объемах потребления воды и фиксированной частоте вращения электропривода и проанализировать результаты;
- 2) На основе моделирования определить недостатки и аварийные ситуации в объекте, и возможность их устранения путем введения в систему регулятора.

Решение задач и результаты исследований

Для предотвращения взрывов метана и удушья рабочих при газодинамических явлениях особое значение имеет контроль содержания метана в рудничной атмосфере. В условиях шахт, разрабатывающих пласты, опасные по внезапным газодинамическим явлениям, анализаторы метана, предназначенные для использования в качестве средств газового контроля и отключения электроэнергии, согласно [2], должны обеспечивать время срабатывания защиты по объемной доле метана не более 0,8 с. Кроме того, для таких анализаторов дополнительно вводится требование ко времени срабатывания по скорости

нарастания объемной доли метана, которое при скорости 0,5%/с не должно превышать 2 с [2].

Практически все анализаторы метана, используемые в системах автоматического газового контроля, основаны на относительно инерционном термокаталитическом методе измерения [3, 4]. Уменьшение постоянной времени термокаталитических датчиков и использование дополнительных информационных признаков позволило в некоторой степени повысить быстродействие аппаратуры газового контроля, но окончательно данный вопрос не решен.

Как известно, инерционность термокаталитического преобразователя определяется переходным процессом газообмена терморреакционной камеры и переходными процессами изменения температуры каталитического и сравнительного чувствительных элементов (ЧЭ). Структура термокаталитического датчика представлена на рис. 1.

В отдельных статьях [5] утверждается что инерционность абсорбционных датчиков меньше термокаталитических из других следует что термокаталитические менее инерционны [6, 7]. Проанализируем это утверждение, для этого возьмем типовой датчик рис. 2. К недостаткам этих методов относится существенное влияние на результаты измерения температуры, давления, влажности, наличия углекислого газа и других газовых примесей. Однако основным фактором, который сдерживает применение этих способов измерения, является высокая запыленность рудничного воздуха в месте установки анализаторов.

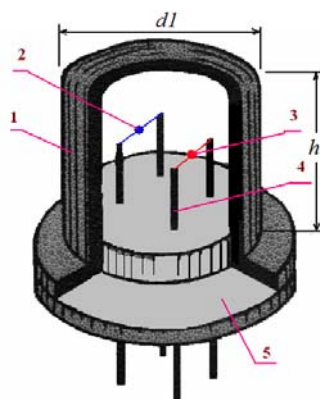


Рисунок 1— Конструкция термокаталитического датчика:
1 — газообменная (терморреакционная) камера,
2 и 3 — компенсационный и рабочий чувствительные элементы;
5 — колодка; $d1 = 5\text{мм}$; $h = 8\text{мм}$

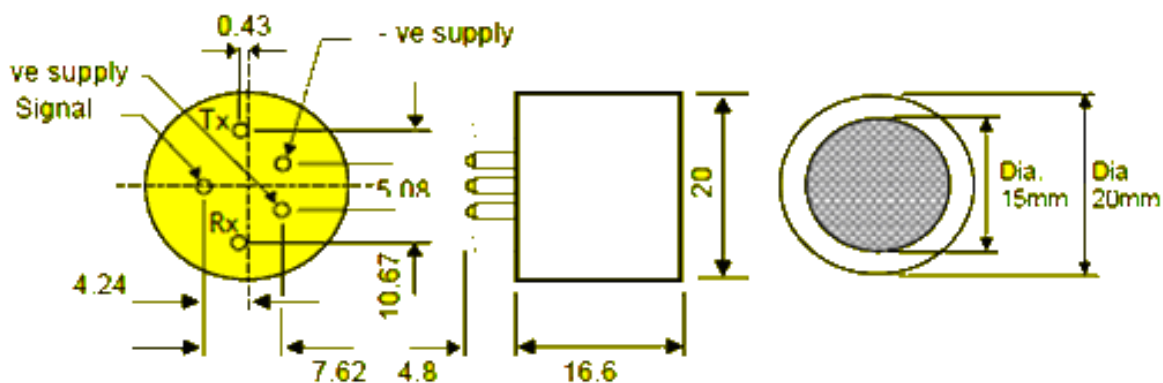


Рисунок 2 — Конструкция оптического (абсорбционного) датчика фирмы "Dunament".

Терморреакционная камера термокаталитического датчика (рис. 1) изготовлена из пористого материала [3, 6]. Такая камера исключает влияние изменения скорости

движения воздушной струи на выходной сигнал, но при этом уменьшает величину последнего. Однако, если величина выходного сигнала датчика достаточна, чтобы погрешности, вызываемые изменением не измеряемых параметров окружающей среды и положения датчика не превышали допустимых значений, с таким уменьшением сигнала можно мериться. Главным же фактором для каталитического датчика всегда была стабильность выходного сигнала.

Поскольку пористая структура термореакционной камеры практически включает конвективный газообмен, то метан в камеру поступает за счет диффузии и разряжения, образуемого в камере в результате окисления метана.

При концентрациях метана, не превышающих стехиометрического соотношения, реакция окисления описывается уравнением



Учитывая первый закон Фика и предполагая, что камера не оказывает сопротивление потоку смеси, поступающей в камеру за счет разряжения (при этом перепад давлений отсутствует), запишем дифференциальное уравнение газообмена для количества молекул в камере.

$$dN_{MK} = -\frac{D_M S}{e} (n_{MK} - n_{MO}) dt - An_{MK} dt + 2An_{MK} \frac{n_{MO}}{n_{MO} + n_{KO} + n_{AO}} dt, \quad (2)$$

где n_{mk} , n_{mo} — соответственно концентрация метана в термореакционной камере и окружающей среде, кмоль/м³;

n_{ko} , n_{ao} — соответственно концентрация кислорода и азота в окружающей среде, кмоль/м³;

S , l , V — соответственно сечение, длина входного канала и объем камеры;

A — количество окисляемой в единицу времени каталитическим элементом метана воздушной смеси (окисляющая способность датчика), которое зависит от каталитической активности, площади активной поверхности катализатора ЧЭ и скорости подвода к нему реагентов, м³/с;

D_m — коэффициент диффузии метана в воздухе, м²/с.

Для камеры, наполненной из пористого материала, длина входного канала может быть принята равной толщине пористой стенки, а его сечение определено из следующего выражения [6].

$$S = \frac{PS_{cm}}{100},$$

где P — процентная пористость керамики;

S_{cm} — площадь пористой стенки, м².

Первая составляющая уравнения (2) — это количество метана, поступающего в камеру за счет диффузии. Вторая составляющая — это количество метана, окисляющегося за время dt на гз. Третья составляющая — это количество метана дополнительно поступающего за счет разряжения от конденсирующейся воды, выделяющейся в результате реакции окисления метана (1).

Это последняя составляющая по сравнению с первой и второй незначительна и в дальнейшем ею пренебрегаем.

Поделив уравнение (2) на V , получим

$$dn_{MK} = -\frac{D_M S}{lV} (n_{MK} - n_{MO}) dt - \frac{A}{V} n_{MK} dt \quad (3)$$

После разделения переменных, интегрирования с определением его постоянной при начальных $t = 0$, $n_{mk} = 0$ и соответствующих преобразований

$$n_{MK} = n_{MO} K_{\Gamma} (1 - e^{-\frac{t}{T_{\Gamma}}}), \quad (4)$$

где

$$k_{\Gamma} = \frac{1}{1 + A\rho} \quad (5)$$

коэффициент газообмена (передачи) датчика;

$$T_{\Gamma} = \frac{V\rho}{1 + A\rho} \quad (6)$$

постоянная времени газообмена датчика, с;

$$\rho = \frac{l}{D_M S} \quad (7)$$

сопротивление диффузионному газообмену камеры датчика, с/м³.

Из выражения (2.31) следует, что передаточная функция датчика по газовому фактору

$$W_{\Gamma}(P) = \frac{n_{MK}(P)}{n_{MO}(P)} = \frac{K_{\Gamma}}{T_{\Gamma}P + 1}$$

Считая концентрацию в камере n_{mk} , распределенной равномерно по всему объему, можно записать, что $N_{r3} = n_{mk}$

Тогда передаточная функция датчика согласно [6,7]

$$W_{II}(P) = \frac{U_{\text{вых}}(P)}{n_{MO}(P)} = W_{\theta}(P) * W_{\Gamma}(P) = \frac{K_{II}}{(T_{\theta}P + 1)(T_{\Gamma}P + 1)}, \quad (8)$$

где $k_{II} = k_{\theta} * k_{\Gamma}$ — коэффициент передачи датчика.

Для современных термокаталитических датчиков

$$T_{\Gamma} = 0,8 \div 1,0 \text{ и } T_{\theta} = 0,2 \div 0,35 \text{ с.}$$

Однако в настоящее время имеет место создание анализаторов метана с применением оптических датчиков метана. Очевидно, что наивысшее быстродействие оптического датчика может быть обеспечено при установке источников и приемников излучения непосредственно в анализируемом газовом потоке. Однако в этом случае на источник и приемник излучения интенсивно осаждаются пыль, что приводит к значительным погрешностям измерения и в конечном итоге к нарушению работоспособности анализаторов.

Необходимость защиты источников и приемников излучения от загрязнения ведет к увеличению инерционности измерителей и усложнению их конструкции. Обычно в измерительных приборах, работающих в запыленной среде, источник и приемник излучения защищают при помощи нескольких цилиндрических или конических диафрагм. Которые по своим свойствам аналогичны термореакционной камеры термокаталитического датчика изготовленного из пористого материала. Соответственно процесс газообмена оптического датчика в этом случае замедляется и его можно описать первым законом Фика (2) за вычетом окислившегося метана (т.к. процессов окисления в данном датчике не происходит). В этом случае постоянная времени газообмена может быть определена по следующему выражению

$$T_g = \frac{Vl}{D_M S} \tag{9}$$

Для оптического (абсорбционного) датчика фирмы "Dynamec" $T_g \geq 10c$.

Динамическая погрешность измерения термокаталитическим датчиком концентрации метана, при её нарастании, можно рассчитать по следующему выражению

$$\Delta(t) = V_{CH} \left(T_G + T_T - \frac{T_G^2}{T_G - T_T} e^{-\frac{t}{T_G}} + \frac{T_T^2}{T_G - T_T} e^{-\frac{t}{T_T}} \right) \tag{10}$$

где: V_{CH} — скорость нарастания концентрации метана

Динамическая погрешность измерения оптическим датчиком концентрации метана определим из

$$\Delta(t) = V_{CH} T_G \left(1 - e^{-\frac{t}{T_G}} \right) \tag{11}$$

На рис.3 представлены зависимости динамической погрешности измерения концентрации метана термокаталитическим и оптическим датчиками.

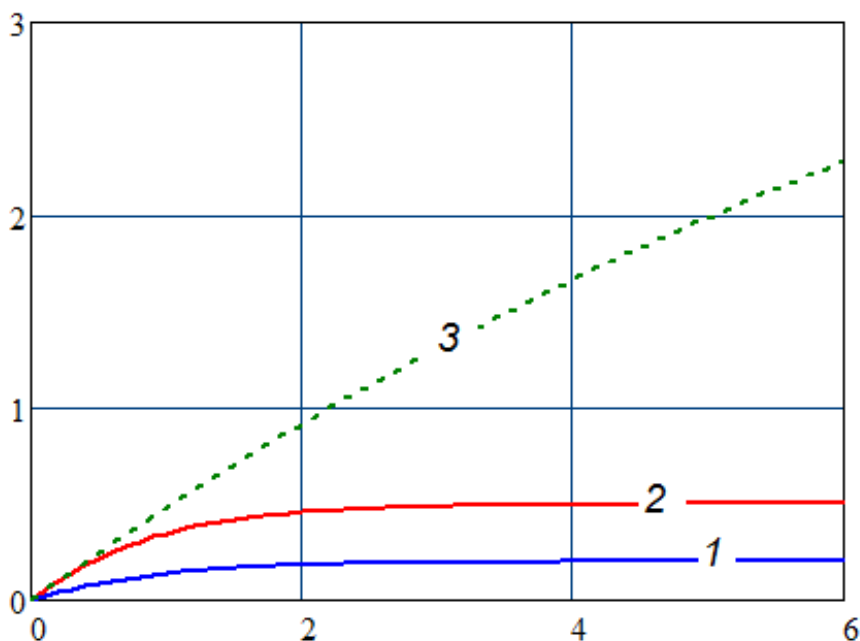


Рисунок 3 — Зависимость динамической погрешности измерения концентрации метана
 1 — термокаталитический датчик метана ($V_{CH} = 0,2$ об %/сек)
 2 — термокаталитический датчик метана ($V_{CH} = 0,5$ об %/сек)
 3 — оптический датчик метана ($V_{CH} = 0,2$ об %/сек)

Из проведенного анализа следует, что термокаталитический датчик метана обладает меньшей динамической погрешностью измерения концентрации метана в шахтных условиях, однако недостаточная стабильность этих датчиков требует частой их поверки. Оптический датчик обладает большей на порядок стабильностью, но имеет большую инерционность, поэтому в разрабатываемую аппаратуру газового контроля для шахт опасных по внезапным выбросам угля и газа целесообразно применять комбинированный способ измерения концентрации метана с применением обоих датчиков.

Выводы

1. Показана возможность оценки динамической погрешности измерения концентрации метана термokatалитическим и оптическим датчиками.
2. Проведенное моделирование показывает возможные области применения термokatалитических и оптических датчиков для измерения концентрации метана в шахтах опасных по внезапным выбросам угля и газа.
3. Введение в систему газового контроля комбинированного способа измерения концентрации уменьшает динамическую погрешность измерения, а также повышает надежность отключения защищаемого электрооборудования при опасных газодинамических проявлениях.

Список использованной литературы

1. Брюханов А.М. Научно-технические основы расследования и предотвращения аварий на угольных шахтах / А.М. Брюханов. — Донецк: Норд-пресс, 2004. — 347 с.
2. Приборы шахтные газоаналитические. Общие технические требования, методы испытания: ГОСТ-24032-80. — М.: Госстандарт, 1980. — 34 с.
3. Карпов Е.Ф. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы / Е.Ф. Карпов, И.Э. Биренберг, Б.И. Басовский. — М.: Недра, 1984. — 285 с.
4. Карпов Е.Ф. Автоматическая газовая защита / Е.Ф. Карпов. — М.: Недра, 1989. — 234 с.
5. Голинько В.И. Повышение быстродействия термokatалитических анализаторов метана. — [Электронный ресурс] / В.И. Голинько, А.К. Котляров. — Режим доступа: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Nvngu/2009_12/Golinko.pdf.
6. Новиков Е.Н. Исследование процессов тепло- и газообмена в термokatалитическом датчике метана / Е.Н. Новиков // В сб. науч. трудов. — МакНИИ, 1979. — 8 с.
7. Новіков Є.М. Автостабілізація вихідного сигналу термokatалітичного датчика метану / Є.М. Новіков // Известия Донецкого горного института. — 2001. — № 2.
8. Бреслер П.И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение / П.И. Бреслер. — Л.: Энергия, 1980. — 342 с.

Надійшла до редакції:
30.01.2012 р.

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Ковальов Є.Б.

E.N. Novikov. Features of the checking of methane systems are in coal industry. The analysis of transients is executed in the primary transformers of control of methane. Factors are considered influencing on metrology parameters of primary transformers of control of methane in coal industry. It is rotined that basic sensor must be high-stable, and additional by littleinertia

Keywords: mine atmosphere, methane, explosion hazard, sensor, monitoring, explosion protection.

Є.М. Новіков. Особливості систем контролю метану у вугільній промисловості. Виконаний аналіз перехідних процесів в первинних перетворювачах контролю метану. Розглянуті чинники що впливають на метрологічні параметри первинних перетворювачів контролю метану в гірничій промисловості. Показано, що основний датчик повинен бути високостабільним, а додатковий малоінерційним.

Ключові слова: гірнича атмосфера, метан, перехідні процеси, датчик, контроль.

© Новиков Е.Н., 2012