УДК 622.831.3:681.583.3

В. И. ГОЛИНЬКО,
докт. техн. наук, проф.
(Национальный горный университет,
г. Днепропетровск, Украина)

# УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНАЛИЗАТОРОВ МЕТАНА

**Аннотация.** Приведены результаты исследований, направленных на улучшение динамических характеристик анализаторов метана. Предложены решения, позволяющие уменьшить постоянную времени датчиков метана и повысить надежность систем взрывозащиты.

**Ключевые слова:** метан, взрывоопасность, датчик, контроль, взрывозащита.

**Summary.** The results of researches, dynamic descriptions of methane analyzers directed on an improvement are resulted. Solutions which allow decreasing permanent time of sensors of methane and promoting reliability of the systems protecting from explosions are offered.

**Keywords:** methane, explosion hazard, detector, control, explosion protection.

По мере вовлечения в отработку угольных пластов, залегающих на больших глубинах, увеличивается число газодинамических явлений, в том числе таких наиболее опасных, как внезапные выбросы. Внезапные выбросы сопровождаются выносом значительного количества угля и газа в выработку. При этом содержание метана в месте выброса за относительно короткий промежуток времени может достигать 100%. Скорость нарастания содержания метана в выработке при этом иногда достигает 5%/с [1]. В этом случае для предотвращения взрывов метана и удушья рабочих особое значение имеет контроль состава и параметров рудничной атмосферы.

К настоящему времени как в Украине, так и за рубежом накоплен значительный опыт разработки и эксплуатации приборов и аппаратуры автоматического контроля состава и параметров рудничной атмосферы, в том числе средств автоматического контроля метана [2, 3]. В условиях шахт, разрабатывающих пласты, опасные по внезапным газодинамическим явлениям, анализаторы метана, предназначенные для использования в качестве средств газового контроля и отключения электроэнергии, согласно [4] 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 [4].

С учетом требований [4] на основе термокаталитического метода была разработана аппаратура для быстродействующей защиты АТБ [5]. Однако из-за низкой помехоустойчивости и частых ложных срабатываний при отсутствии газодинамических явлений применение такой аппаратуры приводило к необоснованным простоям и существенным экономическим потерям, что ограничило возможность ее применения. В настоящее время вопрос совершенствования быстродействующих средств или поиска новых подходов к разработке системы быстродействующей защиты остается открытым.

Целью настоящей публикации является поиск решений, направленных на уменьшение времени срабатывания средств защиты.

Быстродействие термокаталитических анализаторов метана в первую очередь зависит от скорости протекания переходных газодинамических и термодинамических процессов в датчике метана. Известно, что в установившемся режиме работы датчика и при применении в современных анализаторах миниатюрных термоэлементов пелисторного типа переходные процессы, связанные с нагревом элементов и обусловленные инерционностью электрических цепей, несущественно влияют на динамические характеристики анализатора метана [2]. Поэтому эти процессы в дальнейшем при решении вопроса, связанного с повышением быстродействия средств защиты, в работе рассматриваться не будут.

Выходной сигнал измерительного моста анализатора пропорционален концентрации метана в реакционной камере $C_{мк}$, которая в установившемся режиме работы термокаталитического датчика пропорциональна потоку метана, окисляющегося на каталитически активном элементе. В свою очередь эта концентрация зависит от концентрации метана в анализируемой смеси $C_{мс}$ и от соотношения диффузионной проводимости фильтра и эффективной диффузионной проводимости элемента [4]:

$$C_{мк} = C_{мс} \frac{\gamma_ф}{\gamma_э + \gamma_ф}, \qquad (1)$$

где $\gamma_э$ и $\gamma_ф$ — соответственно эффективная диффузионная проводимость термоэлемента и диффузионная проводимость фильтра, м$^3$/с.

Переходные газодинамические процессы в термокаталитических датчиках, возникающие при изменении концентрации метана в анализируемой смеси, рассмотрены в работе [6]. В результате теоретического анализа этих процессов получены уравнения, описывающее изменение концентрации метана в реакционной камере. Для случая скачкообразного увеличения концентрации метана в атмосфере от $C_{мс0}$ до $C_{мс}$ уравнение имеет вид:

$$C_{мк} = \frac{\gamma_ф}{\gamma_э + \gamma_ф}\left[C_{мс_0} + (C_{мс} - C_{мс_0})\exp\left(-\frac{\gamma_ф + \gamma_э}{V_р}t\right)\right]. \qquad (2)$$

В частном случае, когда концентрация метана в газовой смеси изменяется от нуля до $C_{мс}$, уравнение (2) приобретает вид

$$C_{мк} = \frac{\gamma_ф}{\gamma_э + \gamma_ф} C_{мс} \left[ 1 - \exp\left( - \frac{\gamma_ф + \gamma_э}{V_р} t \right) \right]. \quad (3)$$

Из уравнений (2) и (3) видно, что при скачкообразном изменении содержания метана в контролируемой среде его концентрация в реакционной камере, а следовательно, и выходной сигнал измерительного моста изменяются по экспоненциальной зависимости с постоянной времени:

$$\tau = \frac{V_р}{\gamma_ф + \gamma_э}. \quad (4)$$

С учетом реальных значений величины диффузионной проводимости металлокерамического фильтра серийных однокамерных термокаталитических датчиков и объема их реакционной камеры $\gamma_ф = \gamma_э = 10^{-7}$ м$^3$/с и $V_p = 4 \cdot 10^{-7}$ м$^3$, постоянная времени составляет около 2 с.

Анализ выражений (2) и (4) показывает, что повысить быстродействие анализаторов возможно путем уменьшения объема реакционной камеры, а также за счет увеличения величин проводимостей $\gamma_ф$ и $\gamma_э$.

В термокаталитических анализаторах метана газообменный фильтр не только служит для сообщения реакционной камеры с анализируемой средой, но и является средством взрывозащиты. Здесь применяются керамические и металлокерамические фильтры, при изготовлении которых можно целенаправленно формировать величину гидродинамического сопротивления фильтра таким образом, чтобы газообмен через фильтр осуществлялся практически только за счет молекулярной диффузии. Толщина стенок фильтра и его пористость при этом выбираются из условия обеспечения необходимой проницаемости и прочности фильтра. С другой стороны, при большой диффузионной проводимости фильтра наблюдается перегрев активного элемента при взрывчатых концентрациях метана, приводящий к нарушению работоспособности анализаторов, и, кроме того, проявляется зависимость выходного напряжения датчика от активности элемента, загрязнения фильтра, а также нелинейный характер выходного напряжения измерительного моста в зависимости от величины тока при постоянной концентрации метана [7]. Таким образом, повышение быстродействия анализатора за счет увеличения величины диффузионной проводимости фильтра нецелесообразно.

Минимальный объем реакционной камеры однокамерных датчиков определяется необходимостью размещения двух термоэлементов, а также стоек для крепления элементов и теплоизоляционного экрана, необходимого для уменьшения взаимного теплового влияния термоэлементов при изменении пространственного положения датчика. Возможности дальнейшего уменьшения объема реакционной камеры в таких датчиках практиче-

ски исчерпаны. В то же время в двухкамерном датчике вследствие размещения в реакционной камере только одного элемента и отсутствия экрана объем реакционной камеры можно существенно уменьшить.

Следует отметить, что при уменьшении объема реакционной камеры одновременно уменьшается площадь поверхности фильтра. Поскольку диффузионная проводимость фильтра пропорциональна его площади [2], то при неизменной толщине стенок фильтра и его пористости это приводит к адекватному уменьшению диффузионной проводимости фильтра. Однако различный характер зависимости объема и площади поверхности реакционной камеры от ее линейных размеров при постоянной величине $\gamma_э$ позволяет при этом уменьшить постоянную времени анализатора. Так, при уменьшении линейных размеров реакционной камеры на 25%, что является вполне реальным по конструктивным и технологическим соображениям, объем реакционной камеры уменьшается практически в 2 раза, а площадь ее поверхности — в 1,56 раза. Согласно уравнению (4) расчетное значение постоянной времени при этом составляет 1,22 с.

В то же время при уменьшении геометрических размеров камеры и сохранении неизменной толщины стенок фильтра и его пористости возрастает прочность конструкции. Поэтому исходя из условий сохранения неизменной прочности камеры толщина ее стенок в двухкамерном датчике может быть несколько уменьшена, что приведет к увеличению ее диффузионной проводимости и уменьшению постоянной времени.

Определенный резерв повышения быстродействия появляется также при использовании двухкамерных датчиков с различными тепловыми режимами элементов. В отличие от серийных однокамерных датчиков, в которых высокая температура предварительного нагрева чувствительных элементов приводила к активации сравнительного элемента [8], в указанных двухкамерных датчиках температуру предварительного нагрева рабочего элемента можно увеличить с 400 до 420–430 °С. При этом величина эффективной диффузионной проводимости рабочего элемента увеличивается в 1,1 раза [3].

Указанное увеличение проводимостей $\gamma_ф$ и $\gamma_э$ позволяет уменьшить постоянную времени анализатора до 1,1 с.

Увеличения быстродействия аппаратуры газового контроля можно также достичь при дополнительном контроле скорости нарастания и изменения концентрации метана по длине горной выработки (рис. 1).

Используя данные информационные признаки, еще в 90-х гг. XX в. была разработана аппаратура для быстродействующей защиты АТБ [5]. Однако при эксплуатации такой аппаратуры часто наблюдалось срабатывание защиты при отсутствии газодинамических явлений. Ложные срабатывания аппаратуры обусловливались прежде всего наличием звена дифференцирования сигнала. На выходное напряжение этого звена существенное влияние оказывают колебания напряжения в питающей сети, вызванные пуском и остановкой оборудования, электромагнитные помехи и др. Кроме

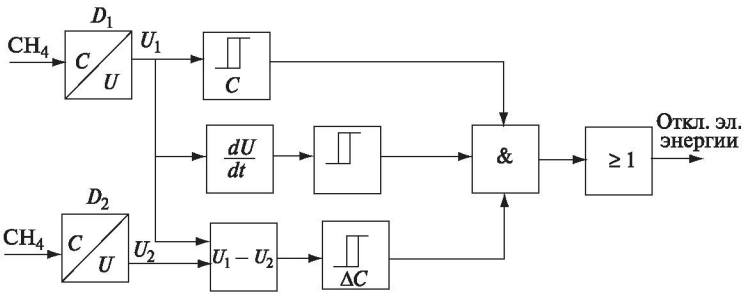


**Рис. 1.** Структурная схема быстродействующей аппаратуры газового контроля

того, при нормальной работе добычных и подготовительных участков независимо от места установки газоанализаторов их выходной сигнал постоянно флуктуирует, что в первую очередь обусловлено непостоянством процессов газовыделения и наличием турбулентных пульсаций. Следует отметить, что флуктуации выходного сигнала наиболее выражены при установке анализаторов на исходящих вентиляционных струях из очистных выработок и на участках подготовительных работ.

На рис. 2 приведен фрагмент записи выходного сигнала газоанализатора (полученной с использованием технических средств системы КАГИ), установленного на вентиляционном штреке 1-й западной лавы шахты «Краснолиманская». Здесь видно, что изменения выходного сигнала протекают с постоянной времени около 2 с. Это, по-видимому, связано со скоростью протекания переходных процессов в термокаталитическом датчике. Скорость изменения показаний анализаторов на отдельных участках при этом доходит до 0,1–0,2%/с. Наличие таких флуктуаций дополнительно снижает помехоустойчивость аппаратуры.

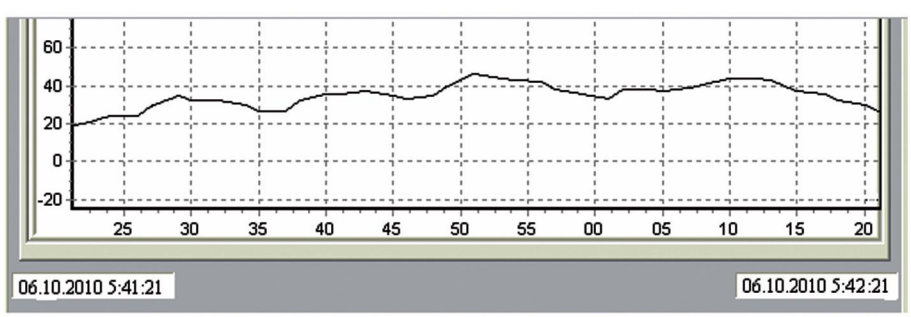


**Рис. 2.** Фрагмент записи выходного сигнала газоанализатора, установленного на вентиляционном штреке 1-й западной лавы шахты «Краснолиманская» (участок подготовительных работ УПР 3)

Более эффективное использование таких признаков, как скорость нарастания и изменение концентрации метана по длине горной выработки, для увеличения быстродействия аппаратуры газового контроля можно достичь при использовании современной микропроцессорной техники для получения информационных сигналов и передачи данных по линиям связи. В этом случае информационные параметры определяются расчетным путем, исключаются аналоговые узлы с низкой помехоустойчивостью и, кроме того, программным путем осуществляется очистка информационных сигналов от помех.

Уменьшение постоянной времени термокаталитических датчиков и использование дополнительных информационных признаков позволяют повысить быстродействие аппаратуры газового контроля, однако окончательное решение вопроса совершенствования быстродействующих средств остается открытым.

Анализ существующих способов контроля содержания метана показывает, что наибольшее быстродействие средств газового контроля может быть обеспечено при применении оптического абсорбционного и ультразвукового методов.

К недостаткам этих способов измерения 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.

Очевидно, что наивысшее быстродействие оптического или ультразвукового датчика может быть обеспечено при установке источников и приемников излучения непосредственно в анализируемом газовом потоке. Однако в этом случае на источник и приемник излучения происходит интенсивное осаждение пыли, что приводит к значительным погрешностям измерения и в конечном счете к нарушению работоспособности анализаторов. Учитывая то, что датчики быстродействующей аппаратуры газового контроля устанавливаются в местах интенсивного пылеотложения (призабойное пространство подготовительных выработок и места сопряжения очистных и подготовительных выработок), где концентрация пыли может достигать 500 мг/м$^3$ и более, процесс накопления пыли на незащищенных элементах может протекать весьма интенсивно, что практически исключает применение не защищенных от осаждения пыли чувствительных элементов.

Необходимость защиты источников и приемников излучения от загрязнения ведет к увеличению инерционности измерителей и к усложнению их конструкции. Обычно в измерительных приборах, работающих в запыленной среде, источник и приемник излучения защищают при помощи нескольких цилиндрических или конических диафрагм, между которыми образуются карманы для осаждения пыли [9]. Количество диафрагм и расстояние между ними обычно подбирают из условия отсутствия кон-

вективного переноса запыленной анализируемой среды в карман с оптическим элементом. Однако наличие элементов защиты, с одной стороны, увеличивает постоянную времени датчиков, а с другой — усложняет процесс их периодического обслуживания. Все это обусловливает то, что до настоящего времени не удалось создать надежных, быстродействующих средств газового контроля с использованием оптического и ультразвукового методов измерения.

Альтернативным решением вопроса может быть создание анализаторов метана, в которых одновременно используются два датчика: (1) основной — термокаталитический и (2) вспомогательный малоинерционный — оптический или ультразвуковой.

Структурная схема одного из вариантов аппаратуры газового контроля с использованием двух датчиков метана приведена на рис. 3.

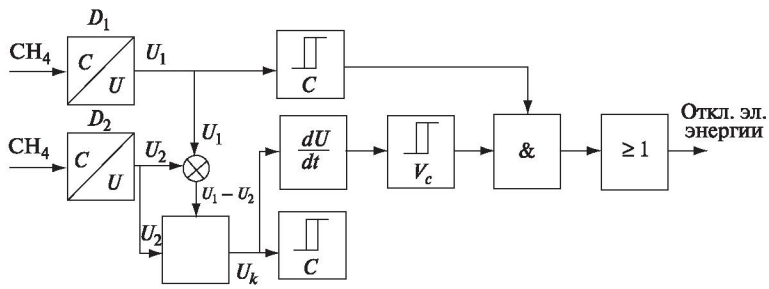


**Рис. 3.** Структурная схема быстродействующей аппаратуры газового контроля с малоинерционным датчиком

В данном случае основным является высокостабильный, но относительно инерционный термокаталитический датчик $D_1$, выходной сигнал которого используется для формирования сигнала телеизмерения, сигнала на отключение электроэнергии и корректировки выходного сигнала малоинерционного датчика $D_2$. Датчик $D_2$ обеспечивает выдачу сигнала на отключение электроэнергии при достижении недопустимой концентрации метана и при недопустимой скорости изменения концентрации метана.

Отличительной особенностью аппаратуры, приведенной на рис. 3, является наличие корректирующего блока БК, который в зависимости от знака и величины напряжения рассогласования $\Delta U = U_1 - U_2$ с заданной постоянной времени осуществляет коррекцию выходного напряжения быстродействующего датчика $D_2$.

В установившемся режиме работы при постоянной концентрации метана и отсутствии иных факторов, влияющих на величину выходного напряжения датчика $D_2$, величина $U_к$ практически равна напряжению $U_1$. При медленном изменении величины напряжения $U_2$, вызванного накоплением пыли на оптических элементах, изменением температуры, давления, относительной влажности, временным изменением параметров источника

излучения и приемника в результате корректировки величины выходного напряжения датчика $D_2$, величина $U_к$ постоянно приводится в соответствие со значением выходного напряжения высокостабильного термокаталитического датчика $D_1$. В случае быстрого изменения величины напряжения $U_2$ до недопустимого значения концентрации или с недопустимой скоростью, вызванного, например, газодинамическим явлением, вследствие инерционности процесса коррекции, выходное напряжение на выходе блока коррекции $U_к$ практически повторяет изменения $U_2$, что приводит к появлению сигнала на выходе пороговых устройств и срабатыванию системы защиты.

Для надежной работы рассмотренной быстродействующей аппаратуры газового контроля с малоинерционным датчиком важное значение имеет правильный выбор скорости коррекции выходного сигнала малоинерционного датчика $D_2$. С одной стороны, эта скорость должна позволять практически не снижать чувствительность аппаратуры при возникновении газодинамических явлений, а с другой — своевременно отрабатывать возможные изменения выходного сигнала вследствие воздействия неконтролируемых факторов.

С позиции обеспечения быстродействия анализаторов метана скорость коррекции необходимо выбирать на порядок меньше порога срабатывания по скорости нарастания объемной доли метана [4], что составляет 0,05%/с.

Процессы изменения температуры, давления, относительной влажности, параметров источника излучения протекают весьма медленно и не являются в данном случае лимитирующими. Поэтому с позиции отработки возможных изменений выходного сигнала быстродействующего датчика вследствие воздействия неконтролируемых факторов требуемое значение скорости коррекции в первую очередь определяется влиянием на выходной сигнал датчика пыли. Для оценки требуемого значения скорости коррекции рассмотрим оптический адсорбционный датчик с узкополосным источником излучения с длиной волны, соответствующей максимуму поглощения метана.

Длины волн максимального поглощения, характерные для метана, составляют 3,31 и 7,7 мкм. Связь между интенсивностью падающего потока излучения $J$ и количеством энергии $J_n$, поглощенной бесконечно тонким слоем $dx$ анализируемого газа в спектральном интервале $d\nu$, в соответствии с законом Бугера [9] имеет вид:

$$J_n = -KJdxd\nu, \tag{5}$$

где $K$ — коэффициент поглощения;
$\nu$ — волновое число ($\nu = 1/\lambda$, $\lambda$ — длина волны в мкм).

При постоянной длине волны излучения, толщине слоя смеси $x$ с концентрацией метана $C$ решение уравнения (5) имеет вид [9]

$$J_i = J_0 (1 - \exp(-ACx)), \tag{6}$$

где $A$ — коэффициент поглощения при длине волны $\lambda$, не зависящий от концентрации газа, характерный для молекулы поглощающего газа.

При контроле довзрывных концентраций метана и расстоянии между источником и приемником излучения до нескольких дециметров выражение (6) может быть представлено в виде линейной зависимости:

$$J_n = ACxJ_0. \tag{7}$$

Относительное значение поглощенной энергии в этом случае составляет

$$J_n / J_0 = ACx. \tag{8}$$

С учетом величины коэффициента поглощения для длин волн максимального поглощения 3,31 и 7,7 мкм [9] относительное значение поглощенной энергии при измерительной базе датчика 0,1 м доходит до 0,01/% $CH_4$.

Концентрация пыли в призабойном пространстве подготовительных выработок и в местах сопряжения лавы с подготовительной выработкой, где возможна установка быстродействующих анализаторов метана, может достигать 1000 мг/м$^3$, а скорость ее изменения доходит до 100 мг/(м$^3$ · с). При анализе процесса поглощения оптического излучения пылью обычно исходят из известной зависимости ослабления света отдельной частицей пыли. Она базируется на классическом выражении, описывающем рассеивание света на частицах пыли [9], и представляет собой оптическое сечение частички:

$$S_p = 2S_d - S_\theta = \frac{\pi \cdot d^2}{4}\left[2 - \varphi(z)\right], \tag{9}$$

где $S_d$ — геометрическое сечение частички, м$^2$;

$S_\theta$ — сечение, пропорциональное свету, рассеянному частичкой в область малых углов в границах угловой апертуры фотоприемника, которая составляет $2\theta$;

$d$ — диаметр частички, м;

$\varphi(z)$ — безразмерная функция рассеивания света на сферической частичке;

$z = \rho \cdot \theta = \frac{\pi d}{\lambda}\theta$ — парамет дифракции;

$\theta$ — угол наблюдения света, рассеиваемого относительно направления светового пучка, рад;

$\lambda$ — длина волны света, падающего на частичку, м.

Функция рассеивания света на сферической частичке сложным образом зависит от размера частички, длины волны излучения и угла наблюдения света, рассеиваемого относительно направления светового пучка [10]:

$$\varphi(z) = 1 - I_0^2(z) - I_1^2(z), \tag{10}$$

где $I_0$, $I_1$ — шаровые функции Бесселя нулевого и первого порядка.

При малых углах наблюдения, характерных для адсорбционных датчиков, в случае когда размеры частичек меньше или сопоставимы с длиной волны света, оптическое сечение частички практически определяется ее

геометрическим сечением. Поэтому при разработке измерителей запыленности, основанных на оптическом абсорбционном методе, величину светового потока, поглощенного пылью, упрощенно принимают пропорциональной суммарной площади сечения частиц пыли, находящихся в измерительном объеме.

Взвешенная в воздухе пыль всегда является полидисперсной, причем дисперсный состав пыли в значительной мере зависит от расстояния до источника пылеобразования. В местах установки датчиков быстродействующих анализаторов метана в воздухе содержится значительное количество крупных частичек пыли с размерами до 60 мкм. Среднемедианный диаметр пыли в таких местах доходит до 10 мкм и более.

Расчеты показывают, что при концентрации угольной пыли 1000 мг/м$^3$ со среднемедианным диаметром частичек пыли 10 мкм и при измерительной базе датчика 0,1 м относительное значение поглощенной энергии $J_n/J_0$ составляет около 0,01. Таким образом, при максимально возможной запыленности рудничной атмосферы относительное значение поглощенной энергии практически соответствует поглощению излучения при объемном содержании метана 1%. В таком случае при скорости изменения концентрации пыли 100 мг/(м$^3$ · с) изменение выходного сигнала малоинерционного оптического анализатора может доходить до 0,1%/с.

Учитывая возможную скорость изменения выходного сигнала малоинерционного оптического анализатора, вызванную изменением концентрации пыли, скорость коррекции, выбранную нами с позиции обеспечения быстродействия анализаторов метана, следует несколько увеличить и принять равной 0,1%/с.

При применении малоинерционного датчика метана, основанного на ультразвуковом методе измерения, на его выходной сигнал существенное влияние оказывают температура, давление, влажность, углекислый газ и другие газовые примеси. Наличие высокой концентрации пыли практически не влияет на скорость распространения звуковой волны. Поэтому при работе в сильно запыленной среде в этом случае необходимо только осуществлять периодическую очистку источников и приемников излучения от загрязнения.

Температура, атмосферное давление и влажность в месте установки газоанализаторов являются весьма медленно изменяющимися параметрами. Поэтому возможная величина скорости изменения выходного сигнала малоинерционного ультразвукового датчика, вызванная изменением указанных параметров, существенно меньше, чем у оптического адсорбционного датчика. В этом случае скорость коррекции выходного сигнала малоинерционного датчика целесообразно принять исходя из условия обеспечения быстродействия анализаторов метана.

Отличительной особенностью малоинерционного ультразвукового датчика является то, что при попадании в открытый измерительный объем по-

сторонних предметов, например разлетающихся при внезапном выбросе кусков угля и породы, информационный сигнал изменяется в сторону снижения концентрации метана. В то же время в аналогичной ситуации в оптическом датчике информационный сигнал изменяется в сторону увеличения концентрации метана. При таком характере изменения выходного сигнала в случае попадания кусков угля и породы в измерительный объем ультразвукового датчика возможны случаи несрабатывания защиты. Ввиду этого при установке малоинерционных датчиков в зоне, где возможно воздействие на них продуктов выброса, предпочтение должно отдаваться оптическим абсорбционным датчикам, поскольку наличие посторонних предметов в их измерительном объеме однозначно приводит к срабатыванию системы защитного отключения.

## Выводы

Увеличить быстродействие аппаратуры газового контроля можно путем уменьшения постоянной времени термокаталитических датчиков метана и путем использования таких информационных признаков, как скорость нарастания метана и изменение его концентрации по длине горной выработки.

Уменьшить постоянную времени датчиков метана можно при выполнении их двухкамерными и использовании различных тепловых режимов чувствительных элементов. Такое выполнение датчиков позволяет существенно уменьшить объем реакционной камеры (вследствие размещения в реакционной камере только одного элемента и отсутствия теплоизолирующего экрана) и увеличить эффективную диффузионную проводимость каталитически активного термоэлемента (за счет выбора более высокой температуры его предварительного нагрева).

Использование скорости нарастания и изменения концентрации метана по длине горной выработки в качестве информационных признаков возможно при условии применения для получения информационных сигналов и передачи данных по линиям связи современной микропроцессорной техники.

Повысить быстродействие и надежность аппаратуры газового контроля возможно при одновременном использовании в анализаторах метана двух датчиков, причем основным должен быть высокостабильный, но относительно инерционный термокаталитический датчик, а вспомогательным — малоинерционный оптический или ультразвуковой. При этом выходной сигнал основного датчика используется для формирования сигнала телеизмерения, сигнала на отключение электроэнергии и корректировки выходного сигнала малоинерционного датчика, а вспомогательный датчик обеспечивает выдачу сигнала на отключение электроэнергии при достижении

недопустимой концентрации метана и при недопустимой скорости изменения концентрации метана. Учитывая возможную скорость изменения выходного сигнала малоинерционного датчика, вызванную влиянием неконтролируемых параметров, скорость коррекции его выходного сигнала целесообразно принять равной 0,1%/с.

При попадании в открытый измерительный объем ультразвукового датчика посторонних предметов, например разлетающихся при внезапном выбросе кусков угля и породы, их информационный сигнал изменяется в сторону снижения концентрации метана, в адсорбционном оптическом датчике — в сторону увеличения концентрации метана. Учитывая это, при установке малоинерционных датчиков в зоне, где возможно воздействие на них продуктов выброса, предпочтение должно отдаваться оптическим абсорбционным датчикам, поскольку наличие посторонних предметов в их измерительном объеме однозначно приводит к срабатыванию системы защитного отключения.

## Литература

1. *Брюханов А. М.* Закономерности формирования взрывоопасной среды при внезапных выбросах породы, угля и газа в тупиковых выработках шахт // Пожарная безопасность: Сб. науч. тр. / ЛГУБЖД. Львов, 2007. № 10. С. 121—125.

2. *Карпов Е. Ф., Биренберг И. Э., Басовский Б. И.* Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы. М.: Недра, 1984. 285 с.

3. *Голинько В. И., Котляров А. К., Белоножко В. В.* Контроль взрывоопасности горных выработок шахт. Днепропетровск: Наука и образование, 2004. 207 с.

4. Приборы шахтные газоаналитические. Общие технические требования, методы испытания: ГОСТ-24032–80. М.: Госстандарт, 1980. 34 с.

5. *Айруни А. Т., Гусев М. Г., Медведев В. Н.* Аппаратура для регистрации быстропротекающих процессов изменения концентрации метана // Безопасность труда в промышленности. 1984. № 7. С. 35–37.

6. *Котляров А. К.* Исследование переходных процессов при ограничении подачи метановой воздушной смеси в реакционную камеру датчика // Науковий вісник НГУ. 2004. № 12. С. 47–51.

7. *Голинько В. И., Белоножко В. В.* Исследование процесса окисления метана в термокаталитических датчиках // Науковий вісник НГУ. 2003. № 7. С. 62–65.

8. *Голинько В. И., Белоножко А. В.* Исследование процессов накопления продуктов термической деструкции углеводородов на поверхности термоэлементов // Науковий вісник НГУ. 2008. № 7. С. 60–65.

9. *Бреслер П. И.* Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение. Л.: Энергия, 1980. 342 с.

10. *Шифрин К. С.* Коэффициент рассеяния света на больших частицах // Известия АН СССР. Серия геофизическая и географическая. 14. № 1. 1950. С. 64–69.