

В.И. Голинько, А.К. Котляров

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛОИНЕРЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ МЕТАНА
В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ГАЗОВОГО КОНТРОЛЯ****THE USE IS SMALL INERTIA SENSORS OF METHANE
IN THE AUTOMATIC GAS CHECKING SYSTEMS**

Приведены результаты исследований, направленных на повышение надежности аппаратуры газового контроля. Показано, что повысить быстродействие средств контроля возможно при одновременном использовании в анализаторах метана двух датчиков. Основной датчик должен быть высокостабильным, но относительно инерционным, например термокаталитический датчик, а вспомогательный – малоинерционный оптический или ультразвуковой. Приведена схема аппаратуры газового контроля с использованием двух датчиков метана и обоснованы их основные параметры.

Ключевые слова: *охрана труда, аппаратура газового контроля, датчики метана.*

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].

К настоящему времени как в Украине, так и за рубежом накоплен значительный опыт разработки и эксплуатации средств автоматического газового контроля [3, 4]. Но, несмотря на это, существующая быстродействующая аппаратура для шахт, разрабатывающих пласты, опасные по внезапным газодинамическим явлениям, не в полной мере соответствует требованиям [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.

Целью настоящей публикации является поиск решений, направленных на повышение быстродействия систем автоматического газового контроля.

Анализ существующих способов контроля содержания метана, выполненный в [3, 4], показал, что наибольшее быстродействие средств газового контроля может быть обеспечено при применении оптического абсорбционного и ультразвукового способов.

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.

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 интенсивно осаждаются пыль, что приводит к значительным погрешностям измерения и в конечном итоге 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/м³ и более, процесс накопления пыли на незащищенных элементах может протекать весьма интенсивно, что практически исключает применение незащищенных от осадения пыли чувствительных элементов.

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 излу-

чения защищают при помощи нескольких цилиндрических или конических диафрагм, между которыми образуются карманы для осаждения пыли [5]. Количество диафрагм и расстояние между ними обычно подбирают из условия отсутствия конвективного переноса запыленной анализируемой среды в карман с оптическим элементом. Наличие элементов защиты, с одной стороны, увеличивает постоянную времени датчиков, а с другой – усложняет процесс их периодического обслуживания. Все это обуславливает то, что до настоящего времени не удалось создать надежные, быстродействующие средства газового контроля с использованием оптического и ультразвукового методов измерения.

Альтернативным решением вопроса может быть создание анализаторов метана, в которых одновременно используются два датчика: основной – термо-

каталитический и вспомогательный малоинерционный – оптический или ультразвуковой.

Структурная схема одного из вариантов аппаратуры газового контроля с использованием двух датчиков метана приведена на рис. 1.

В данном случае высокостабильный но относительно инерционный термокatalитический датчик D_1 является основным, 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.

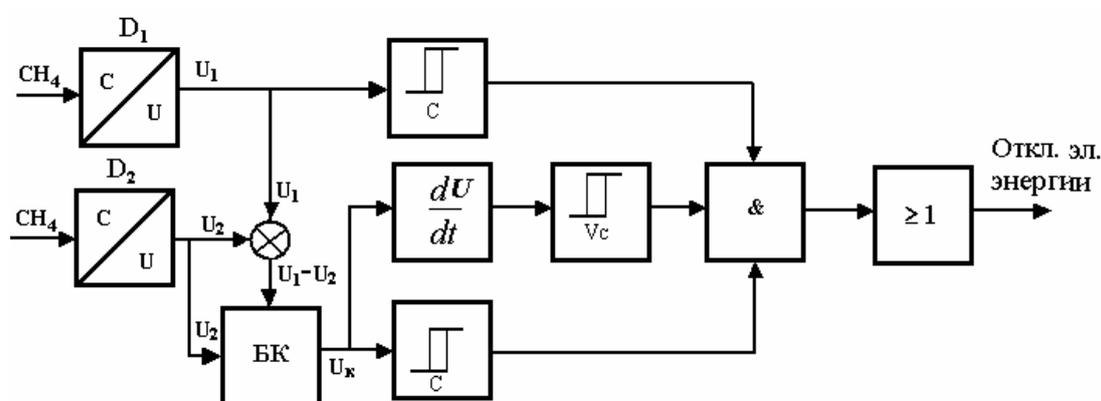


Рис. 1. Структурная схема быстродействующей аппаратуры газового контроля с малоинерционным датчиком

Отличительной особенностью аппаратуры, приведенной на рис. 1, 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 малоинерционного датчика D_2 .

В установленном режиме работы при постоянной концентрации метана и отсутствии иных факторов, влияющих на величину выходного напряжения датчика D_2 , величина U_k 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 величину выходного напряжения датчика D_2 , величина U_k постоянно приводится в соответствие со значением выходного напряжения высокостабильного термокatalитического 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_k 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 обрабатывать 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 [6], что составляет 0,05 %/с.

Процессы изменения температуры, давления, относительной влажности, параметров источника излучения и протекают весьма медленно и не являются в данном случае лимитирующими. Поэтому, с позиции обработки возможных изменений выходного сигнала быстродействующего датчика вследствие воздействия неконтролируемых факторов, требуемое значе-

ние 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, характерными для метана, являются 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 [7] имеет вид

$$J_n = -KJdx\nu, \quad (1)$$

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

При постоянной длине волны излучения, толщине слоя смеси x с концентрацией метана C решение уравнения (1) имеет вид [7]

$$J_n = J_0(1 - \exp(-ACx)), \quad (2)$$

где A – коэффициент поглощения при длине волны λ , не зависящий от концентрации газа, характерный для молекулы поглощающего газа.

При контроле дозрывных концентраций метана и расстоянии между источником и приемником излучения до нескольких дециметров выражение (2) может быть представлено в виде линейной зависимости

$$J_n = ACxJ_0.$$

Относительное значение поглощенной энергии в этом случае составляет

$$J_n / J_0 = ACx.$$

С учетом величины коэффициента поглощения для длин волн максимального поглощения 3,31 и 7,7 мкм [7] относительное значение поглощенной энергии при измерительной базе датчика 0,1 м достигает 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, согласно [8], может достигать 1000 мг/м^3 , а скорость ее изменения доходит до $100 \text{ мг/(м}^3 \cdot \text{с)}$. 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

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

где S_d – геометрическое сечение частички, м^2 ; S_θ – сечение, пропорциональное свету, рассеянному частичкой в область малых углов в границах угловой апертуры фотоприемника, которая составляет 2θ ; d – диаметр частички, м; $\varphi(z)$ – безразмерная функция рассеивания света на сферической частичке; $z = \rho \cdot \theta = \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \theta$ – параметр дифракции; θ – угол

наблюдения света, рассеиваемого относительно направления светового пучка, рад; λ – 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 [9]

$$\varphi(z) = 1 - I_0^2(z) - I_1^2(z),$$

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 адсорбционном 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 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 $100 \text{ мг/(м}^3 \cdot \text{с)}$ 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 ее 0,1 %/с.

При применении малоинерционного датчика метана, основанного на ультразвуковом методе измерения, на его выходной сигнал существенно влияют

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 значение величины скорости коррекции выходного сигнала малоинерционного датчика целесообразно принять исходя из условия обеспечения быстрodeйствия анализаторов метана.

Отличительной особенностью малоинерционного ультразвукового датчика является то, что при попадании в открытый измерительный объем посторонних 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 адсорбционным датчикам, поскольку наличие посторонних предметов в их измерительном объеме однозначно приводит к срабатыванию системы защитного отключения.

Выводы. Повысить быстрodeйствие 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 вспомогательный – 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 0,1 %/с.

При установке малоинерционных датчиков в зоне, где возможно воздействие на них продуктов выброса, предпочтение должно отдаваться оптическим адсорбционным датчикам, поскольку наличие посторо-

нных предметов в их измерительном объеме однозначно приводит к срабатыванию системы защитного отключения.

Список литературы

1. Брюханов А.М. Научно-технические основы расследования и предотвращения аварий на угольных шахтах. – Донецк: Норд-пресс, 2004. – 347 с.
2. ГОСТ-24032-80. Приборы шахтные газоаналитические. Общие технические требования, методы испытания: – М.: Госстандарт, 1980. – 34 с.
3. Карпов Е.Ф., Биренберг И.Э., Басовский Б.И. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы. – М.: Недра, 1984. – 285 с.
4. Голинько В.И., Котляров А.К., Белоножко В.В. Контроль взрывоопасности горных выработок шахт. – Д.: Наука и образование, 2004. – 207 с.
5. Голинько В.И. Колесник В.Е. Совершенствование методов и техники пылевого контроля // Научный вісник НГА України. –1998.– № 1. – С. 45-49.
6. Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах: В 2 т. – К.: Держнаглядохоронпраці, 2003. – Т. 1. – 480 с.; Т. 2. – 416 с.
7. Бреслер П.И. Оптические адсорбционные газоанализаторы и их применение. – Л.: Энергия, 1980. – 342 с.
8. Кирич Б.Ф., Журавлев В.П., Рыжих Л.И. Борьба с пылевыделением в шахтах. – М.: Недра, 1983. – 213 с.
9. Шифрин К.С. Коэффициент рассеяния света на больших частицах // Известия АН СССР. – Серия геофиз. и географ. – 1950. – № 1, 14. – С. 64-69.

Наведено результати досліджень, спрямованих на підвищення надійності апаратури газового контролю. Показано, що підвищити швидкодію засобів контролю можливо при одночасному використанні в аналізаторах метану двох датчиків. Основний датчик має бути високостабільним, але відносно інерційним, наприклад термокаталітичний датчик, а допоміжний – малоінерційний оптичний або ультразвуковий. Наведено схему апаратури газового контролю з використанням двох датчиків метану й обґрунтовано їх основні параметри.

Ключові слова: охорона праці, апаратура газового контролю, датчики метану.

The results of researches, directed on the increase reliability apparatus gas control are resulted. It is shown that to promote the fast-acting of controls possibly at the simultaneous use in the analyzers of methane two sensors. A basic sensor must be highly stable, but relatively inertia, for example termo-catalytic sensor, and auxiliary – little inertia optical or ultrasonic. The chart of apparatus gas control is resulted with the use two sensors methane and grounded them basic parameters.

Key words: labor protection, gas monitoring equipment, methane sensors.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.С. Колесником 21.01.10