

ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ АНАЛИЗАТОРОВ МЕТАНА

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: рудничная атмосфера, метан, методы измерения, датчики, анализаторы

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. 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.

Анализ исследований и публикаций. 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 секунд. 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 термokatалитического 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.

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

Изложение материала и результаты.

Быстродействие термokatалитических 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 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, нами не будут рассматриваться.

Выходной сигнал измерительного моста анализатора пропорционален концентрации метана в реакционной камере $C_{МК}$, которая в установившемся режиме работы термokatалитического датчика пропорциональна потоку метана окисляющегося на каталитически активном элементе. В свою очередь эта концентрация зависит от концентрации метана в анализируемой смеси $C_{МС}$ и соотношения диффузионной

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 практически 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. Учитывая то, что 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 γ_y позволяет при этом уменьшить постоянную времени анализатора. Так, например, при уменьшении линейных размеров реакционной камеры на 25%, что является вполне реальным по конструктивным и технологическим соображениям, объем реакционной камеры уменьшается практически в два раза, а площадь ее поверхности – в 1,56 раза. Согласно (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 °С до 420 – 430 °С. При этом величина эффективной диффузионной проводимости рабочего элемента увеличивается в 1,1 раза [3].

Указанное увеличение проводимостей γ_ϕ и γ_z позволяет уменьшить постоянную времени анализатора до 1,1 с.

Увеличение быстродействия аппаратуры газового контроля можно также достичь при дополнительном контроле скорости нарастания и изменения концентрации метана по длине горной выработки.

Используя данные информационные признаки, еще в 90-х годах прошлого столетия была разработана аппаратура для быстродействующей защиты АТБ [5]. Однако при эксплуатации такой аппаратуры часто наблюдалось срабатывание защиты при отсутствии газодинамических явлений. Ложные срабатывания аппаратуры, прежде всего, обуславливались наличием звена дифференцирования сигнала. На выходное напряжение этого звена существенное влияние оказывают колебания напряжения в питающей сети, вызванные пуском и остановкой оборудования и электромагнитные помехи. Кроме того, даже при нормальной работе добычных и подготовительных участков независимо от места установки газоанализаторов их выходной сигнал постоянно флуктуирует, что 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.

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 термokatалитических датчиков и использования дополнительных информационных признаков позволяет повысить быстродействие аппаратуры газового контроля, однако окончательное решение вопроса совершенствования быстродействующих средств остается открытым.

Анализ существующих способов 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 итоге к нарушению работоспособности анализаторов. Учитывая то, что датчики быстродействующей аппаратуры газового контроля устанавливаются в местах интенсивного пылеотложения 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 незащищенных 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. Однако наличие элементов защиты с одной стороны увеличивает постоянную времени датчиков, а с другой – усложняет процесс их периодического обслуживания. Все это обуславливает то, 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 – термokatалитический 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 термokatалитический 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.

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. Средне медианный диаметр пыли в таких местах доходит до 10 мкм и более.

Расчеты показывают, что при концентрации угольной пыли 1000 мг/м^3 со средне медианным 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 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 значение величины скорости 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 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 абсорбционным датчикам, поскольку наличие посторонних предметов в их измерительном объеме однозначно приводит к срабатыванию системы защитного отключения.

Выводы и направление дальнейших исследований.

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

Список литературы

1. Брюханов А.М. Закономерности формирования взрывоопасной среды при внезапных выбросах породы, угля и газа в тупиковых выработках шахт // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. ЛДУБЖД. – Львів, 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 метановоздушной 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 термодаталитических 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. Борьба со взрывами угольной пыли в угольных шахтах / М.И. Нецепляев, А.И. Любимова, П.М. Петрухин и др. – М.: Недра, 1992. – 298 с.
11. Кирин Б.Ф., Журавлев В.П., Рыжих Л.И. Борьба с пылевыведением в шахтах, – М.: Недра, 1983. – 213 с.
12. Шифрин К.С. Коэффициент рассеяния света на больших частицах // Известия АН СССР. – Серия геофизическая и географическая, 14, №1, 1950. – С. 64-69.