

А.К. Котляров, канд. техн. наук
(Украина, Конотоп, НПО «Красный металлист»)

УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ МЕТАНА

Среди технических средств, предназначенных для контроля взрывоопасности газовых смесей в горных выработках шахт, важное место занимают приборы для определения содержания метана. Одним из наиболее распространенных методов контроля концентрации метана является термокаталитический. Для этого метода характерна большая избирательность и чувствительность к измеряемому компоненту [1, 2].

В настоящее время термокаталитические газоанализаторы широко применяют для непрерывного измерения концентрации метана в горных выработках шахт. Отечественным производителем таких средств является НПО «Красный металлист», которым освоен выпуск аппаратуры автоматического газового контроля с термокаталитическими датчиками метана. Следует отметить, что в условиях шахт, разрабатывающих пласты, опасные по внезапным газодинамическим явлениям, анализаторы метана, предназначенные для использования в качестве средств газового контроля и отключения электроэнергии, должны обеспечивать время срабатывания защиты по объемной доле метана не более 0,8 с [3]. 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 [3]. Учитывая тот факт, что быстроедействие существующих термокаталитических анализаторов метана, оценивающих только концентрацию метана, недостаточно для выполнения указанных требований, то необходим поиск новых решений, направленных на уменьшение времени срабатывания средств защиты. Этому вопросу и посвящена настоящая публикация.

Быстроедействие 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 данного вопроса не будут рассматриваться.

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

ношения диффузионной проводимости фильтра и эффективной диффузионной проводимости элемента [1], т.е.

$$C_{mk} = C_{mc} \frac{g_{\phi}}{g_{\varepsilon} + g_{\phi}}, \quad (1)$$

где g_{ε} и g_{ϕ} – соответственно эффективная диффузионная проводимость термоэлемента и диффузионная проводимость фильтра, м³/с.

Переходные газодинамические процессы в термोकаталитических датчиках, возникающие при изменении концентрации метана в анализируемой смеси, рассмотрены в работе [4]. В результате теоретического анализа этих процессов получены уравнения, описывающие изменение концентрации метана в реакционной камере. Для случая скачкообразного увеличения концентрации метана в атмосфере от C_{mc0} до C_{mc} уравнение имеет следующий вид

$$C_{mk} = \frac{g_{\phi}}{g_{\varepsilon} + g_{\phi}} \left[C_{mc0} + (C_{mc} - C_{mc0}) \exp\left(-\frac{g_{\phi} + g_{\varepsilon}}{V_p} t\right) \right]. \quad (2)$$

В частном случае, когда концентрация метана в газовой смеси изменяется от нуля до C_{mc} , уравнение (2) запишется как

$$C_{mk} = \frac{g_{\phi}}{g_{\varepsilon} + g_{\phi}} C_{mc} \left[1 - \exp\left(-\frac{g_{\phi} + g_{\varepsilon}}{V_p} t\right) \right]. \quad (3)$$

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

$$t = \frac{V_p}{g_{\phi} + g_{\varepsilon}}. \quad (4)$$

С учетом реальных значений величины диффузионной проводимости металлокерамического фильтра серийных однокамерных термोकаталитических датчиков и объема их реакционной камеры $g_{\phi} = g_{\varepsilon} = 10^{-7}$ м³/с и $V_p = 4 \cdot 10^{-7}$ м³ постоянная времени составляет около 2 с.

Анализ выражений (2) и (3) показывает, что повысить быстродействие анализаторов метана возможно путем уменьшения объема реакционной камеры, а также увеличения величин проводимостей g_{ϕ} и g_{ε} .

В термोकаталитических анализаторах метана газообменный фильтр слу-

жит не только для соединения реакционной камеры с анализируемой средой, но и является средством взрывозащиты. Применяемые керамические и металлокерамические фильтры позволяют при их изготовлении 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 самого фильтра. С другой стороны, при большой диффузионной проводимости фильтра и взрывчатых концентрациях метана возникает перегрев активного элемента, приводящий к нарушению работоспособности анализаторов, и кроме того наблюдается зависимость выходного напряжения датчика от активности элемента, загрязнения фильтра и нелинейный характер выходного напряжения измерительного моста от величины тока при постоянной концентрации метана [5]. Поэтому, 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, служащего 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 с уменьшением объема реакционной камеры одновременно уменьшается площадь поверхности фильтра. Учитывая тот факт, что диффузионная проводимость фильтра пропорциональна его площади [2], то при неизменной толщине стенок фильтра и его пористости это приводит к адекватному снижению диффузионной проводимости фильтра. Однако различный характер зависимости объема и площади поверхности реакционной камеры от ее линейных размеров при постоянной величине g , 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 выражению (4) расчетное значение постоянной времени при этом составляет 1,22 с.

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 [6], 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 [1].

Указанное увеличение проводимостей γ_{ϕ} и $\gamma_{э}$ позволяет уменьшить постоянную времени анализатора до 1,1 с.

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

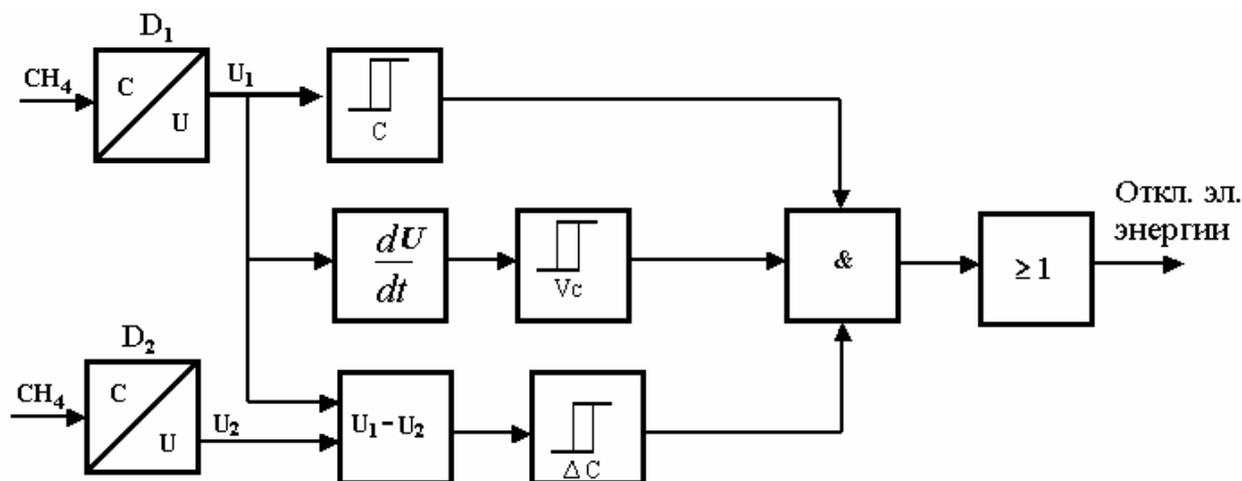


Рис. 1. Структурная схема быстродействующей аппаратуры газового контроля

Используя данные информационные признаки, еще в 90-х годах прошлого столетия была разработана аппаратура для быстродействующей защиты АТБ [7]. 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, электромагнитные помехи и др. Кроме 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 секунд. 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.

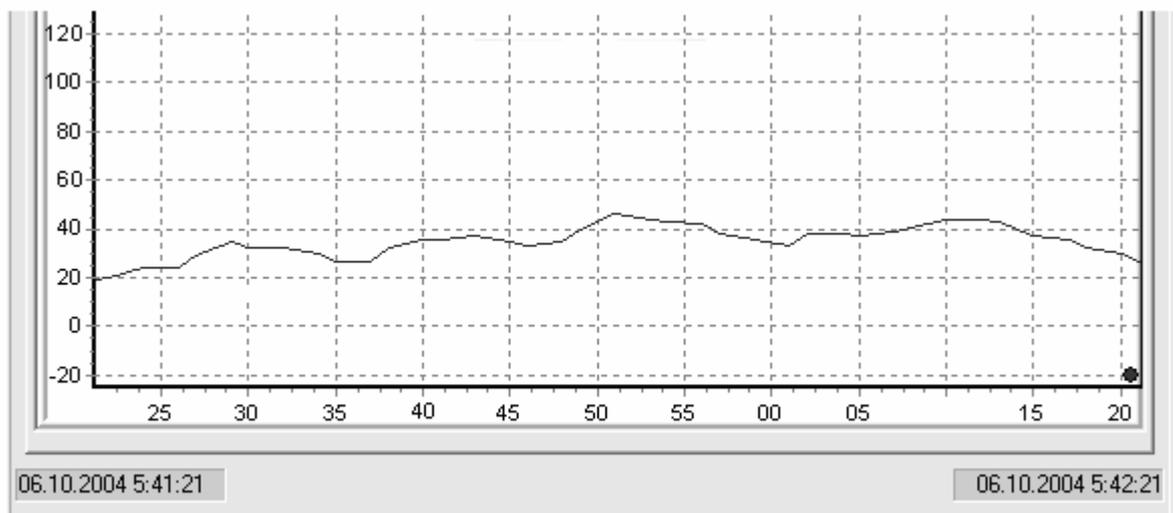


Рис. 2. Фрагмент записи выходного сигнала газоанализатора, установленного на вентиляционном штреке 1-й западной лавы шахты «Краснолиманская» (участок подготовительных работ УПР 3)

Чтобы более эффективно использовать такие признаки, как скорость нарастания и изменение концентрации метана по длине горной выработки для увеличения быстродействия аппаратуры газового контроля, для получения информационных сигналов и передачи данных по линиям связи следует воспользоваться средствами современной микропроцессорной техники. 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.

Подводя итоги выполненных исследований, можно сделать следующие выводы.

Увеличить быстродействие аппаратуры газового контроля можно путем уменьшения постоянной времени срабатывания термокаталитических датчиков метана и 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 применении для получения информационных сигналов и передачи данных по линиям связи современной микропроцессорной техники.

Список литературы

1. Голинько В.И., Котляров А.К., Белоножко В.В. Контроль взрывоопасности горных выработок шахт. – Д.: Наука и образование, 2004. – 207 с.
2. Карпов Е.Ф., Биренберг И.Э., Басовский Б.И. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы. – М.: Недра, 1984. – 285 с.
3. Приборы шахтные газоаналитические. Общие технические требования, методы испытания: ГОСТ 24032–80. – М.: Госстандарт, 1980. – 34 с.
4. Котляров А.К. Исследование переходных процессов при ограничении подачи метановоздушной смеси в реакционную камеру датчика // Наук. вісн. Нац. гірн. ун-ту. – 2004. – №12. – С. 47–51.
5. Голинько В.И., Белоножко В.В. Исследование процесса окисления метана в термokatалитических датчиках // Наук. вісн. Нац. гірн. ун-ту. – 2003. – №7. – С. 62-65.
6. Голинько В.И. Белоножко А.В. Исследование процессов накопления продуктов термической деструкции углеводородов на поверхности термоэлементов // Наук. вісн. Нац. гірн. ун-ту. – 2008. – №7. – С. 60–65.
7. 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.