

## РАЗРАБОТКА ДАТЧИКОВ МЕТАНА ДЛЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ШИРОКОДИАПАЗОННЫХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

*В. И. Голинько, докт. техн. наук (Национальный горный университет),  
А. К. Котляров, канд. техн. наук (НПО «Красный металлист»)*

*Виконано аналіз існуючих методів контролю вмісту метану, придатних для створення універсальних широкодіапазонних газоаналізаторів. Обґрунтовано метод контролю з використанням двокамерного термокаталітичного датчика з різним температурним режимом чутливих елементів.*

*Ключові слова: аналіз, метан, температура, газоаналізатор, режим, датчик, чутливість.*

*Выполнен анализ существующих методов контроля содержания метана, пригодных для создания универсальных широкодиапазонных газоанализаторов. Обоснован метод контроля с использованием двухкамерного термокаталитического датчика с разным температурным режимом чувствительных элементов.*

*Ключевые слова: анализ, метан, температура, газоанализатор, режим, датчик, чувствительность.*

*The analysis of existing methane control methods suitable for development of universal broadband methane analyzers is carried out. The control method using the dual-chamber thermocatalytic sensor, sensible elements of which work in various temperature regimes, is established.*

*Key words: analysis, methane, temperature, gas analyzer, regime, sensor, sensitivity.*

**Введение.** Одной из наиболее актуальных проблем для горной промышленности является борьба со взрывами метана. Среди мероприятий, направленных на профилактику взрывов метана, важная роль отводится контролю его содержания в рудничной атмосфере.

Существующие анализаторы метана обеспечивает надежный контроль его содержания в основном в диапазоне 0–2,5 %. Однако в ряде случаев, например при пожарах и внезапных выбросах угля, породы и газа, когда существенно изменяется газовый состав рудничной атмосферы и в горных выработках образуются газовые смеси с высокой концентрацией метана, существующие анализаторы оказываются неработоспособными, что затрудняет принятие решений, направленных на спасение людей и ликвидацию аварии.

**Постановка задачи.** В известных анализаторах метана одновременно использовались термокаталитический и термокондуктометрический методы измерения [1]. Они включали две мостовые схемы для измерения соответственно низких и высоких концентраций метана. Первая схема содержала каталитически активный и компенсационный элементы, которые контактировали с контролируемым газом. Компенсационный элемент первого моста являлся частью второй мостовой схемы, в которой он выполнял функции чувствительного элемента. Вторая мостовая схема содержала также элемент, защищенный от контролируемого газа, который в этом мосте является компенсационным.

Анализаторы включают также элементы для коммутации напряжения питания обеих мостовых схем в зависимости от концентрации контролируемого газа.

В результате того, что датчики низкой и высокой концентрации метана постоянно включены, в аппаратуре отсутствуют переходные процессы, связанные с разогревом датчиков. Исключение переходных процессов, связанных с разогревом чувствительных элементов, повышает надежность системы газового контроля. Однако одновременное применение двух датчиков усложняет конструкцию анализаторов, они имеют сравнительно большое энергопотребление, что ограничивает применение указанного принципа в переносных приборах индивидуального, группового пользования и в сигнализаторах метана, соединенных с головными светильниками.

Указанный недостаток устранен в других разработках путем одновременного использования сравнительного элемента термokatалитического датчика в датчике теплопроводности и поочередного включения термokatалитического датчика и датчика теплопроводности. Так, в одном из вариантов анализаторов [2] при повышении содержимого горючего газа выше указанного уровня первый мост, содержащий каталитически активный элемент, отключается и включается второй мост, который работает на кондуктометрическом принципе. При этом компенсационный элемент второй мостовой схемы, отключенный и холодный в начальном состоянии, начинает разогреваться, и измерение вторым мостом возможно только после окончания переходного процесса, связанного с разогревом компенсационного элемента. В это время измерения содержимого метана не происходит, что снижает надежность газового контроля.

В последующих разработках аппаратуры газового контроля [3], в отличие от описанного ранее анализатора [2] с целью упрощения конструкции и снижения энергопотребления в качестве датчика метана высоких концентраций используется только компенсационный чувствительный элемент термokatалитического датчика. Информационным параметром при этом является величина напряжения на сравнительном элементе при питании его от источника стабильного тока.

Использование сравнительного элемента термokatалитического датчика в качестве датчика теплопроводности в термокондуктометрическом сенсоре позволяет уменьшить энергопотребление, отсутствие компенсационного элемента в термокондуктометрическом датчике позволяет снизить длительность переходных процессов, связанных с его разогревом. Однако обоим рассмотренным решениям присущ ряд общих недостатков, которые приводят к сбоям в работе анализаторов и ограничивают их применение.

Целью настоящей публикации является обоснование методов контроля состава газовых смесей, позволяющих создать универсальные широкодиапазонные анализаторы метана с диапазоном измерения 0–100 %.

**Результаты работы.** Для выяснения причин этих сбоев выполним анализ особенностей работы анализаторов при использовании сравнительного элемента термokatалитического датчика в качестве датчика теплопроводности. При этом рассмотрим два возможных варианта работы датчика при высоких концентрациях метана, а именно вариант, когда каталитически активный

элемент термокаталитического датчика не отключается, и вариант согласно [2], когда при достижении порогового значения концентраций производится отключение каталитически активного элемента.

Поскольку при высоких концентрациях метана возможен перегрев каталитически активного элемента, приводящий к нарушению его работоспособности, первый вариант возможен при существенном ограничении диффузии контролируемой среды в реакционную камеру, например при применении датчиков с двойным диффузионным фильтром [4] или при использовании схемы включения со стабилизацией напряжения на рабочем элементе [5]. В любом случае, вследствие окисления метана на каталитически активном элементе, его концентрация в реакционной камере однокамерных датчиков будет существенно отличаться от концентрации метана в анализируемой среде. Связь между этими величинами при поступлении метана в камеру за счет диффузии обычно представляют в виде [4]

$$C_{\text{МК}} = C_{\text{МС}} \frac{\gamma_{\text{Ф}}}{\gamma_{\text{Ф}} + \gamma_{\text{Э}}}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{МК}}$ ,  $C_{\text{МС}}$  – соответственно объемная доля метана в смеси и камере, %;  $\gamma_{\text{Ф}}$  – газодиффузионная проводимость фильтра, м<sup>3</sup>/с;  $\gamma_{\text{Э}} = 10^{-2} K_{\text{эф}} \beta_{\text{м}} F_{\text{Э}}$  – эффективная диффузионная проводимость рабочего элемента, м<sup>3</sup>/с;  $K_{\text{эф}}$  – коэффициент эффективности окисления метана;  $\beta_{\text{м}}$  – коэффициент массопередачи, м/с;  $F_{\text{Э}}$  – площадь поверхности элемента, м<sup>2</sup>.

Разница между концентрацией метана в смеси и в камере

$$\Delta C_{\text{М}} = C_{\text{МС}} \left( 1 - \frac{\gamma_{\text{Ф}}}{\gamma_{\text{Ф}} + \gamma_{\text{Э}}} \right) \quad (2)$$

определяет величину потока метана в камеру и, следовательно, количество тепла, выделяющегося на рабочем элементе, прирост его температуры и величину выходного сигнала измерительного моста.

Следует отметить, что выражения (1) и (2) справедливы для случая, когда лимитирующим агентом в смеси газов, определяющим скорость реакции, является метан. При объемной доле метана свыше 9 % лимитирующим компонентом становится кислород воздуха, и количество тепла, выделяющегося на рабочем элементе, будет пропорционально потоку кислорода  $Q_{\text{к}}$  к поверхности этого элемента [4]. Величина  $\Delta C_{\text{М}}$  в этом случае будет снижаться – от максимального значения при объемной доле метана 9 % до нуля при 100 % метана в смеси. Приняв, что величина  $\Delta C_{\text{М}}$  в данном случае снижается линейно, при объемной доле метана свыше 9 % выражение для определения  $\Delta C_{\text{М}}$  примет вид

$$\Delta C_{\text{М}} = \frac{9(100 - C_{\text{МС}})}{91} \cdot \left( 1 - \frac{\gamma_{\text{Ф}}}{\gamma_{\text{Ф}} + \gamma_{\text{Э}}} \right). \quad (3)$$

В этом случае объемная доля метана в камере будет равной

$$C_{\text{МК}} = C_{\text{МС}} - \frac{9(100 - C_{\text{МС}})}{91} \cdot \left( 1 - \frac{\gamma_{\text{Ф}}}{\gamma_{\text{Ф}} + \gamma_{\text{Э}}} \right). \quad (4)$$

Поток метана в камеру  $Q_{\text{М}}$ , окисляющегося на рабочем элементе, обычно определяется как [4]

$$Q_{\text{М}} = \Delta C_{\text{М}} \gamma_{\text{Ф}}. \quad (5)$$

Для окисления  $Q_{\text{М}}$  расходуется удвоенное количество кислорода  $Q_{\text{К}}$ .

$$Q_{\text{К}} = 2Q_{\text{М}}. \quad (6)$$

В свою очередь поток кислорода в реакционную камеру зависит от разности концентраций кислорода в смеси и в камере  $\Delta C_{\text{К}}$ , а также от диффузионной проводимости фильтра для кислорода  $\gamma_{\text{ФК}}$ :

$$Q_{\text{К}} = \Delta C_{\text{К}} \gamma_{\text{ФК}}. \quad (7)$$

Из уравнений (5)–(7) следует:

$$\Delta C_{\text{К}} = 2\Delta C_{\text{М}} \frac{\gamma_{\text{Ф}}}{\gamma_{\text{ФК}}}. \quad (8)$$

Учитывая линейную зависимость проводимости фильтра от коэффициентов диффузии газов [6], выражение (8) можно представить в виде

$$\Delta C_{\text{К}} = 2\Delta C_{\text{М}} \frac{D_{\text{М}}}{D_{\text{К}}}, \quad (9)$$

где  $D_{\text{М}}, D_{\text{К}}$  – соответственно, коэффициенты диффузии метана и кислорода в воздухе,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Таким образом, подача в камеру кислорода, необходимого для окисления потока метана  $Q_{\text{М}}$ , обеспечивается при разности концентраций кислорода в смеси и в камере  $\Delta C_{\text{К}}$ , и следовательно, объемная доля кислорода в камере  $C_{\text{КК}}$  при объемной доле метана до 9 % составит

$$C_{\text{КК}} = C_{\text{КС}} - \Delta C_{\text{К}} = C_{\text{КС}} - 2C_{\text{МС}} \left( 1 - \frac{\gamma_{\text{Ф}}}{\gamma_{\text{Ф}} + \gamma_{\text{Э}}} \right) \frac{D_{\text{М}}}{D_{\text{К}}}, \quad (10)$$

где  $C_{\text{КС}}$  – объемная доля кислорода в смеси, %.

Соответственно в диапазоне более высоких концентраций метана

$$C_{\text{КК}} = C_{\text{КС}} - 2 \frac{9(100 - C_{\text{МС}})}{91} \cdot \left( 1 - \frac{\gamma_{\text{Ф}}}{\gamma_{\text{Ф}} + \gamma_{\text{Э}}} \right) \frac{D_{\text{М}}}{D_{\text{К}}}. \quad (11)$$

В свою очередь содержание кислорода в рудничной атмосфере линейно уменьшается по мере поступления метана. Эту связь представляют в виде

$$C_{\text{КС}} = 0,21(100 - C_{\text{МС}}). \quad (12)$$

В этом случае выражения (10) и (11) можно представить в виде

$$C_{\text{кк}} = 0,21(100 - C_{\text{мс}}) - 2C_{\text{мс}} \left( 1 - \frac{\gamma_{\text{ф}}}{\gamma_{\text{ф}} + \gamma_{\text{э}}} \right) \frac{D_{\text{м}}}{D_{\text{к}}}; \quad (13)$$

$$C_{\text{кк}} = 0,21(100 - C_{\text{мс}}) \left( \frac{\gamma_{\text{ф}}}{\gamma_{\text{ф}} + \gamma_{\text{э}}} \right) \frac{D_{\text{м}}}{D_{\text{к}}}. \quad (14)$$

Окисление метано-воздушной смеси на катализаторах глубокого окисления идет согласно известной реакции



Продукты окисления за счет разности их концентраций в камере и смеси удаляются из реакционной камеры путем диффузии. Аналогично (9) разность объемной доли углекислого газа  $\Delta C_{\text{co}_2}$  и водяного пара  $\Delta C_{\text{ен}}$  в камере и в смеси при этом составит

$$\Delta C_{\text{co}_2} = \Delta C_{\text{м}} \frac{D_{\text{м}}}{D_{\text{co}_2}}; \quad (16)$$

$$\Delta C_{\text{ен}} = 2\Delta C_{\text{м}} \frac{D_{\text{м}}}{D_{\text{ен}}}, \quad (17)$$

где  $D_{\text{co}_2}, D_{\text{ен}}$  – соответственно коэффициенты диффузии углекислого газа и водяного пара в воздухе,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

С учетом наличия в анализируемой смеси углекислого газа  $C_{\text{co}_2\text{с}}$  и водяного пара  $C_{\text{впс}}$  их объемные доли в камере  $D_{\text{co}_2\text{к}}$  и  $D_{\text{енк}}$  будут равны

$$C_{\text{co}_2\text{к}} = C_{\text{co}_2\text{с}} + \Delta C_{\text{м}} \frac{D_{\text{м}}}{D_{\text{co}_2}}; \quad (18)$$

$$C_{\text{впк}} = C_{\text{впс}} + 2\Delta C_{\text{м}} \frac{D_{\text{м}}}{D_{\text{вп}}}. \quad (19)$$

Как видно из полученных выражений, состав газовой смеси в реакционной камере термокаталитического датчика существенно отличается от состава анализируемой смеси, причем с уменьшением диффузионной проводимости фильтра эти отличия увеличиваются.

Рассмотрим, как повлияют изменения газового состава в реакционной камере на результаты измерения датчиком теплопроводности, для случая  $\gamma_{\text{ф}} = \gamma_{\text{э}}$  и объемной доле метана в смеси 5 %, при которой в широкодиапазонных анализаторах обычно переходят от термокаталитического к термокондуктометрическому методу измерения. Состав анализируемой газовой смеси и смеси в реакционной камере, определенный для данного случая, приведен в табл. 1. Результаты расчета теплопроводности смеси газов, для случая  $\gamma_{\text{ф}} = \gamma_{\text{э}}$  и объемной доле метана в смеси 5 %, выполненные с использованием выражений,

заимствованных из [7] при различной температуре нагрева чувствительного элемента датчика теплопроводности, приведены в табл. 2.

Таблица 1. Состав анализируемой газовой смеси и смеси в реакционной камере

Наименование смеси	Объемная доля компонентов смеси, %				
	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Остальные
Анализируемая смесь	5	20	0	0	75
Смесь в камере при $\gamma_{\phi} = \gamma_{\text{э}}$	2,5	15,5	3,5	5,1	73,4

Таблица 2. Теплопроводность анализируемой смеси и смеси в реакционной камере

Наименование смеси	Коэффициент теплопроводности смеси $\lambda \cdot 10^3$ Вт/м·°С, при температуре термоэлемента, °С		
	400	320	210
Анализируемая смесь	40,667	37,646	33,431
Смесь в камере при $\gamma_{\phi} = \gamma_{\text{э}}$	40,362	37,119	32,729

Исходя из данных табл. 2, рассчитанных согласно [7], значение погрешности измерения, обусловленной несоответствием газового состава смеси в реакционной камере анализируемой смеси, при объемной доле метана 5 % и температуре разогрева термоэлементов 400 °С составляет 0,7 %. Максимальное значение этой погрешности, соответствующее объемной доле метана 9 %, составляет 1,26 %, что в общем удовлетворяет предъявляемым требованиям к средствам контроля взрывоопасности. Однако опыт эксплуатации анализаторов метана и их исследования в лабораторных условиях [8, 9] показывают, что при наличии в рудничной атмосфере высокой концентрации метана, его высших гомологов, водорода и оксида углерода и температуре предварительного разогрева сравнительного элемента термодатчика 400 °С наблюдается их интенсивное окисление на данном элементе, что приводит к провалам выходной характеристики измерительного моста. Кроме того, выполненные исследования [9] показали, что при такой температуре нагрева сравнительного элемента на его поверхности происходит накопление продуктов термической деструкции углеводородов, что приводит к изменению процессов теплообмена. Все это практически исключает возможность использования сравнительного элемента в качестве датчика теплопроводности при данном тепловом режиме.

Для исключения процессов карбонизации сравнительного элемента и окисления на нем горючих газов нами предложен способ измерения, заключающийся в использовании в термодатчиках различных тепловых режимов термоэлементов [10]. В этом случае рассчитанное значение погрешности измерения, обусловленной несоответствием газового состава смеси в реакционной камере анализируемой смеси, при объемной доле метана

5 % и температуре разогрева сравнительного термоэлемента 320 и 210 °С составляет соответственно 1,45 и 2,1 %, а максимальное значение этой погрешности при объемной доле метана 9 % составляет соответственно 2,61 и 3,78 %. Как видно, при использовании в качестве датчика теплопроводности сравнительного элемента термокаталитического датчика, работающего при более низкой температуре разогрева, погрешность измерения из-за различий газового состава существенно возрастают.

Следует также отметить, что при уменьшении газодиффузионной проводимости фильтра состав газа в камере в большей степени отличается от состава анализируемой смеси, что приводит к увеличению погрешности измерения. При большей газодиффузионной проводимости фильтра указанная погрешность уменьшается, однако в этом случае возможны существенные температурные перегрузки рабочего элемента термокаталитического датчика.

Указанные выше недостатки ограничивают возможность использования сравнительного элемента термокаталитического датчика в качестве датчика теплопроводности. Поэтому на практике при разработке аппаратуры газового контроля при переходе с термокаталитического метода контроля на термокондуктометрический каталитически активный элемент либо отключают, либо снижают его температуру до величины, при которой прекращается горение на нем метана. Рассмотрим второй вариант работы датчика при высоких концентрациях метана, когда при достижении порогового значения концентраций производится отключение каталитически активного элемента. Объемная доля метана, кислорода и других газов в реакционной камере в момент отключения каталитически активного элемента будет определяться согласно выражениям (1), (13), (18) и (19).

После отключения каталитически активного элемента происходит изменение концентрации газов в камере вплоть до выравнивания газового состава в камере и анализируемой смеси. Скорость изменения объемной доли метана в этом случае будет

$$\frac{dC_{\text{МК}}}{dt} = \frac{\gamma_{\text{Ф}}}{V_{\text{р}}} (C_{\text{МС}} - C_{\text{МК}}), \quad (20)$$

где  $V_{\text{р}}$  – объем реакционной камеры, м<sup>3</sup>.

С учетом начальных условий решение уравнения имеет вид

$$C_{\text{МК}} = C_{\text{МС}} - (C_{\text{МС}} - C_{\text{МК0}}) \exp\left(-\frac{\gamma_{\text{Ф}} t}{V_{\text{р}}}\right), \quad (21)$$

где  $C_{\text{МК0}}$  – объемная доля метана в камере в момент отключения, %.

Из выражения (21) видно, что длительность переходного процесса определяется величиной отношения диффузионной проводимости фильтра к объему реакционной камеры. Так, например, объем реакционной камеры термокаталитических датчиков, используемых в серийно выпускаемых анализаторах метана АТ1-1 и АТ3-1, составляет около  $V_{\text{р}} = 4 \cdot 10^{-7}$  м<sup>3</sup>. Экспериментально определенная величина диффузионной проводимости металлокерамического фильтра термокаталитических датчиков для этих

анализаторов составляет  $\gamma_{\phi} = 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$  [4]. При таких значениях проводимости и объема постоянная времени составляет  $\tau = 4 \text{ с}$ , и можно считать, что за время  $3\tau$  концентрации метана в реакционной камере и анализируемой смеси практически выравниваются.

С учетом несколько меньшего значения коэффициента диффузии углекислого газа в сравнении с коэффициентом диффузии метана можно считать, что в рассмотренных датчиках после выключения каталитически активного элемента переходной газодинамический процесс длится около 20 с. По истечении этого времени состав газовой смеси в камере и окружающей среде можно считать идентичным.

Отключение или изменение режима работы каталитически активного элемента датчика путем его шунтирования приводит к уменьшению суммарного тепловыделения от чувствительных элементов и, соответственно, к снижению средней температуры газа в камере и температуры сравнительного элемента. Тепло, выделяемое чувствительными элементами термокаталитического датчика  $P_{\text{э}}$ , отводится от реакционной камеры в окружающую среду за счет наличия температурного напора  $\Delta t_{\text{д}}$  путем теплопроводности воздуха и элементов крепления датчика, конвекции, теплопроводности токоподводящих проводников и излучения. Тепловой напор

$$\Delta t_{\text{д}} = t_{\text{с}} - t_{\text{д}} \quad (22)$$

зависит от тепловыделения чувствительных элементов и условий теплообмена.

Основными формами переноса тепла от датчика в окружающую среду является теплопроводность и конвекция [6]. Процесс теплопередачи за счет теплопроводности газовой среды и конвекции обычно упрощают и рассматривают его как кондуктивную теплопередачу. В таком случае можно записать

$$P_{\text{э}} = \alpha_{\text{к}} F_{\text{к}} \Delta t_{\text{д}} + \alpha_{\text{ф}} F_{\text{ф}} \Delta t_{\text{д}} = (\alpha_{\text{к}} F_{\text{к}} + \alpha_{\text{ф}} F_{\text{ф}}) \Delta t_{\text{д}}, \quad (23)$$

где  $\alpha_{\text{к}}, \alpha_{\text{ф}}$  – соответственно коэффициенты теплопередачи элементов крепления и фильтра,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $F_{\text{к}}, F_{\text{ф}}$  – соответственно площадь контакта основания датчика с элементами крепления и площадь фильтра,  $\text{м}^2$ .

Как видно из выражения (23), тепловой напор в данном случае линейно связан с мощностью, выделяемой в термоэлементах, которая в свою очередь определяется мощностью выделяемой при прохождении электрического тока и мощностью, выделяемой на активном элементе вследствие окисления метана. При отключении активного элемента эта мощность, а следовательно, и тепловой напор  $\Delta t_{\text{д}}$  снижаются более чем в два раза.

Тепловой напор в анализаторах метана находится в пределах  $10\text{--}20 \text{ }^\circ\text{C}$ . В этом случае при отключении активного элемента величина  $\Delta t_{\text{к}}$  может составлять более  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , и на такую же величину может снизиться температура сравнительного элемента. Очевидно, что в данном случае измерения датчиком теплопроводности возможны только после окончания переходного теплового процесса, который в анализаторах метана обычно длится десятки минут.



Исключить переходные тепловые и газодинамических процессы при отключении или шунтировании каталитически активного элемента в термокаталитических датчиках газоанализаторов можно при отдельной подаче анализируемой смеси к чувствительным элементам датчиков, то есть при размещении чувствительных элементов под отдельными газодиффузионными фильтрами. В предложенных двухкамерных термокаталитических датчиках [11] с целью исключения сбоев в работе анализаторов при высоких концентрациях метана, вызванных окислением на сравнительном элементе горючих газов, газодиффузионное сопротивление фильтра камеры со сравнительным элементом выбиралось на несколько порядков большим, чем сопротивление фильтра камеры с рабочим элементом. В нашем случае при использовании сравнительного элемента термокаталитического датчика в качестве датчика теплопроводности, газодиффузионное сопротивление фильтров камер следует выбирать одинаковым, а для исключения окисления горючих газов на сравнительном элементе и его карбонизации, использовать предложенный нами способ измерения, отличающийся выбором различных тепловых режимов термоэлементов [10].

Обеспечить разные тепловые режимы чувствительных элементов можно различными способами, например, выполнением термоэлементов с разным сопротивлением или разными размерами [12]. Выполненные исследования [12] показали, что при применении терморезисторов с одинаковым начальным сопротивлением, но разной площадью поверхности и питании измерительного моста от источника стабильного тока термическая стабильность моста обеспечивается при условии его симметрирования, которое осуществляется включением добавочного сопротивления в ветвь моста со сравнительным элементом.

Температуру разогрева сравнительного элемента термокаталитического датчика, который используется в качестве датчика теплопроводности, следует выбирать в диапазоне 240–250 °С. Это позволяет исключить окисление на нем высших гомологов метана, водорода и оксида углерода, которые могут присутствовать в рудничном газе, а также предотвратить накопление продуктов термической деструкции углеводородов на его поверхности [9].

При питании измерительного моста с термокаталитическим датчиком от источника стабильного тока и использовании его сравнительного элемента в качестве датчика теплопроводности объемная доля метана определяется по величине напряжения на данном элементе. В свою очередь при таком режиме питания величина этого напряжения зависит как от теплопроводности смеси, так и от ее температуры [11]. Поэтому в данном случае обязательно наличие в анализаторе датчика температуры и осуществление коррекции результатов измерения исходя из его показаний.

### **Выводы**

Изложенное выше позволяет сделать вывод, что при создании широкодиапазонных универсальных анализаторов метана следует ориентироваться на использование двухкамерных термокаталитических датчиков с различным температурным режимом чувствительных элементов. Размещение чувствительных элементов под отдельными фильтрами позволяет

полностью исключить переходные температурные и газодинамические процессы при переходе анализатора в режим измерения теплопроводности и в то же время при этом обеспечивается идентичность газового состава в камере со сравнительным элементом термokatалитического датчика и в окружающей среде независимо от режимов работы каталитически активного элемента. Кроме того, при существенном ограничении подачи анализируемой среды в реакционную камеру с каталитически активным элементом этот элемент может не отключаться во всем диапазоне возможных концентраций метана.

1. Пат. України 61611А, МК G01N25/22, E21F17/18. Система контролю вмісту горючого газу в шахтній атмосфері / В. В. Білоножко, В. П. Білоножко, В. І. Голинько, А. К. Котляров та ін. // Опубл. 17.11.03. – Бюл. № 11.
2. Пат. 2475733 Франції, МПК G 01 N 27/16 / Изобр. в СССР и за рубежом. – № 1. – 1982.
3. Пат. 79969 України, МПК G 01 N 25/22, E21 F17/18. Аналізатор горючих газів / О.К. Котляров, В.І.Голинько, О.В.Білоножко, В.В.Білоножко. – Опубл. 10.08.07. – Бюл. № 12.
4. Голинько В. И., Котляров А. К., Белоножко В. В. Контроль взрывоопасности горных выработок шахт // Наука и образование. – Днепропетровск, 2004. – 207 с.
5. Голинько В. И., Романенко В. И., Фрундин В. Ю. Обоснование мостовой измерительной схемы термокatalитических газоанализаторов // Сб. науч. тр. НГУ. – 2003. – № 17, Т. 2. – С. 352–357.
6. Карпов Е. Ф., Биренберг И. Э., Басовский Б. И. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы. – М.: Недра, 1984. – 285 с.
7. Котляров А. К., Фрундин В. Е. Теоретическая оценка погрешностей термокондуктометрических анализаторов метана от неизмеряемых компонентов рудничной атмосферы // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2006. – Вип. 77. – С. 87–93.
8. Голинько В. И., Белоножко А. В. Исследование работоспособности термокatalитических датчиков метана после их длительной эксплуатации // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 10. – С. 72–75.
9. Голинько В. И., Белоножко А. В. Исследование процессов накопления продуктов термической деструкции углеводородов на поверхности термоэлементов // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 7. – С. 60–65.
10. Голинько В. И., Котляров А. К., Белоножко А. В. Разработка методов контроля метана, обеспечивающих работоспособность анализаторов при аварийных загазованиях горных выработок шахт // Матер. міжн. конф. “Форум гірників-2008». – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. – С. 33–43.
11. Голинько В. И., Белоножко А. В. Совершенствование термокatalитического метода контроля содержания метана в рудничной атмосфере // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2006. – Вип. 77. – С. 81–87.
12. Голинько В. И., Котляров А. К. Теоретическое обоснование параметров термокондуктометрического датчика метана с изолированным сравнительным элементом // Сб. науч. тр. / НГУ. – 2006. – № 26. – С. 60–67.