

стабилизации // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2004. – №2(11). – С.23-26. 7. Александров, Е.Е., Александрова Т.Е., Никонов О.Я. Параметрический синтез системы с переменной структурой для наведения и стабилизации танковой пушки // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2008. – №1. – С.49-53.

Надійшла до редколегії 25.02.2013

УДК 519.81:681.51

Параметрический синтез стабилизатора переменной структуры / А. С. Мазманишвили, Т. Е. Александрова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ», – 2013. - № 18 (991). – С. 93-98. – Бібліогр.: 7 назв.

Пропонується рішення задачі вибору параметрів стабілізатора змінної структури для танкової гармати, які забезпечують роботу стабілізатора в ковзному режимі, що призводить до підвищення точності стабілізації вісі каналу стволу відносно напрямку на ціль.

Ключові слова: стабілізатор танкової гармати, система зі змінною структурою, ковзний режим, адитивний функціонал.

Offer a solution to the problem of choosing the parameters of variable structure stabilizer for a tank gun, catering to the stabilizer in the sliding mode, which increases the accuracy of stabilization of the axis of the barrel relative to the direction of the target.

Keywords: stabilizer tank gun, a system with variable structure, sliding mode, additive functional.

УДК 543.421:621.38

А. В. ВОВНА, канд. техн. наук, доц. ГВУЗ «ДонНТУ», Донецьк;

А. А. ЗОРИ, д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ДонНТУ», Донецьк;

В. Д. КОРЕНЕВ, канд. техн. наук, доц. ГВУЗ «ДонНТУ», Донецьк

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА

Предложен способ повышения чувствительности и точности оптического измерителя концентрации метана, который основан на линеаризации его характеристики преобразования с умножением на ее обратную функцию программными методами цифровой обработки результатов измерений, что позволило повысить чувствительность и точность измерителя в 4 раза в диапазоне высоких концентраций метана от 30 до 100^{об.%}.

Ключевые слова: измеритель, метан, способ, линеаризация, чувствительность, точность.

Актуальность

Для контроля состава рудничной атмосферы шахт одно из наиболее важных мест занимают измерители концентрации метана. Среди известных методов его контроля, наиболее широкое применение получил термokatалитический метод [1]. Исследования [1, 2] в данной области существенно улучшили метрологические характеристики измерителей. Однако проведенные исследования по влиянию высоких концентраций метана (более 60^{об.%}) на работу термokatалитических датчиков после их длительной эксплуатации [2] показали, что происходит нарушение ра-

© О. В. Вовна, А. А. Зорі, В. Д. Коренєв, 2013

ботоспособности и их отказ. Наиболее перспективный, с точки зрения повышения точности и метрологической надежности, является оптический измеритель [3,4]. Поэтому задача разработки опытных образцов измерителей для контроля в реальном масштабе времени высоких концентрации метана с требуемыми показателями чувствительности и точности является актуальной.

Цель работы

Целью работы является повышение чувствительности и точности оптического измерителя концентрации метана путем разработки способа линеаризации характеристики преобразования с умножением на ее обратную функцию программными методами цифровой обработки результатов измерений. Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

- разработать и исследовать макетный образец оптического измерителя;
- разработать и оценить эффективность способа программной компенсации нелинейности характеристики преобразования.

Результаты исследований

В Государственном высшем учебном заведении «Донецкий национальный технический университет» (г. Донецк, Украина) разработан и создан макетный образец быстродействующего оптико-абсорбционного измерителя концентрации метана. При выполнении лабораторных испытаний макетного образца измерителя, проведенных в лаборатории аэрогазовой защиты угольной шахты им. М.И. Калинина (г. Донецк, Украина), определены характеристики преобразования, которые имеют практически линейный характер в диапазоне измерений концентрации метана от 0 до 2,5 об.%. Чувствительность макетного образца измерителя по выходному напряжению составляет порядка 0,25 В/об.% в данном диапазоне измерений, а в диапазоне от 60 до 100 об.% – 4,1 мВ/об.%.

Для расширения динамического диапазона измерительного контроля концентрации метана до 100 об.% авторами рекомендуется аппроксимировать характеристику преобразования уравнением вида:

$$U(CH_4) = \Delta U_0 \cdot (1 - e^{-k \cdot CH_4}), \quad (1)$$

где ΔU_0 – диапазон изменения выходного напряжения измерителя, 5 В;

CH_4 – измеряемая концентрация метана в диапазоне от 0 до 100 об.%;

U – измеряемое выходное напряжение измерителя от 0 до 5 В;

k – коэффициент аппроксимации характеристики преобразования, величина которого равна 0,055 (об.%)⁻¹ в диапазоне от 0 до 100 об.%;

Повышение чувствительности измерительного контроля концентрации газов за счет линеаризации характеристики преобразования является обратной задачей по восстановлению входного сигнала по известной информации об аппаратной функции измерительного преобразователя (ИП) [5]. Рассмотрим задачу измерения концентрации метана CH_4 , которая преобразуется ИП в сигнал U на его выходе (см. рис.1). При измерительном контроле интерес представляет не выходной сигнал напряжения или тока ИП, а концентрация метана CH_4 . Поэтому задачей обработки результатов является определение значений CH_4 по выходному сигналу U и оператору W , который описывает характеристику преобразования ИП, что является решением задачи коррекции его аппаратной функции. Проще всего такая задача

решается реализацией оператора W^{-1} , который является обратным оператору W , с использованием корректирующего звена ($KЗ$) в программном виде с обработкой сигнала U .

Выходное напряжение $ИП$ поступает на аналого-цифровой преобразователь, который преобразовывает сигнал напряжения в его двоично-десятичный эквивалент. Полученная информация об изменении концентрации метана поступает в вычислительный блок контроллера, где и реализован математический аппарат $KЗ$. Применения аналоговых вычислительных устройств на операционных усилителях нецелесообразно из-за существенной величины погрешности, вносимой в результаты вычислений.

Решение обратной задачи при измерении концентрации метана может быть выполнено, если $KЗ$ имеет обратную функцию преобразования по отношению к $ИП$ (1) следующего вида:

$$U_{лин}(CH_4) = \frac{1}{k_0} \cdot \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{\Delta U_0}{\Delta U_0 - U(CH_4)}, \quad (2)$$

где $U_{лин}$ – диапазон изменения выходного напряжения $KЗ$ после линейризации характеристики преобразования $ИП$;

k_0 – масштабный коэффициент характеристики преобразования, величина которого равна $0,05 \text{ (В)}^{-1}$ в диапазоне от 0 до $100 \text{ }^{об.}\%$.

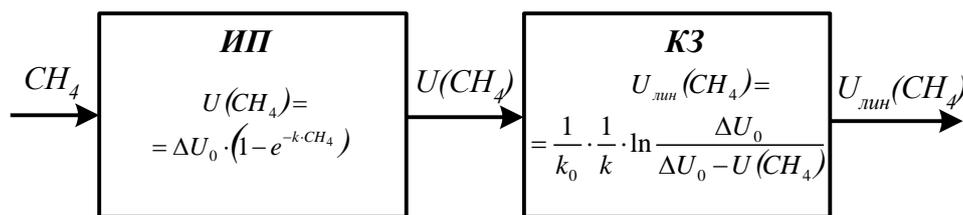


Рис. 1 – Структура оптического измерителя концентрации метана с коррекцией нелинейности характеристики преобразования $ИП$

При проведении лабораторных испытаний разработанного макетного образца было установлено максимальное амплитудное значение шумовой составляющей выходного напряжения $ИП$, величина которого не превышала ± 10 мВ. Данная составляющая погрешности имеет аддитивный характер во всем диапазоне изменения выходного напряжения $ИП$, с учетом этого изменение выходных напряжений $ИП$ (1) и $KЗ$ (2) приведено на рис. 2.

Из анализа функциональных зависимостей характеристик преобразования (см. рис. 2) видно, что в диапазоне измерений концентрации метана от 0 до $30 \text{ }^{об.}\%$ чувствительность выходного напряжения $ИП$ к изменению концентрации метана ($S, \text{ В}/^{об.}\%$) максимальна и диапазон ее изменения составляет от 0,275 до $0,050 \text{ В}/^{об.}\%$. При увеличении же концентрации метана до $100 \text{ }^{об.}\%$ чувствительность выходного напряжения $ИП$ снижается до $(30 - 2) \text{ мВ}/^{об.}\%$. Чувствительность выходного напряжения $KЗ$ после линейризации характеристики преобразования к изменению концентрации метана в диапазоне от 0 до $100 \text{ }^{об.}\%$ остается практически постоянной и составляет $50 \text{ мВ}/^{об.}\%$ (см. рис. 3).

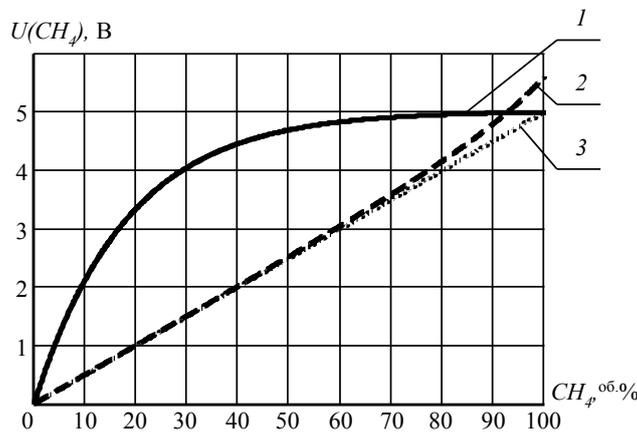


Рис. 2 – Изменение выходных напряжений: 1 – *ИП* $U(CH_4)$ при $U_{ш}=10$ мВ; 2 – *КЗ* $U_{лин}(CH_4)$ при $U_{ш}=10$ мВ; 3 – *КЗ* $U_{лин}(CH_4)$ при $U_{ш}=0$ мВ от CH_4

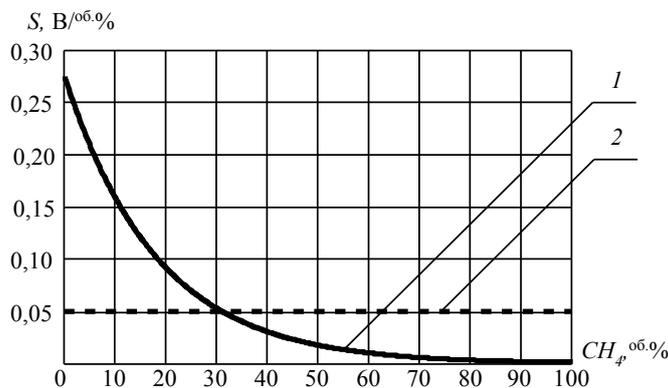


Рис. 3 – Чувствительность выходного напряжения: 1 – *ИП*; 2 – *КЗ* при изменении концентрации метана в диапазоне от 0 до 100 %

Отношение сигнал/шум выходного напряжения *ИП* также следует рассматривать в двух диапазонах измерений концентрации метана: от 0 до 30 % и от 30 до 100 %. Изменение выходного напряжения от концентрации метана *ИП* в первом диапазоне составляет от 0 до 4 В, что намного превышает уровень шума *ИП* ($U_{ш}=10$ мВ), а во втором диапазоне измерений изменение напряжения составляет от 4 до 5 В и относительное его изменение при измерении концентрации метана на 1 % становится соизмеримым с шумом *ИП*. Поэтому во втором диапазоне измерений концентрации метана отношение сигнал/шум выходного напряжения необходимо нормировать на уровне $U(CH_4=30\%)=4,05$ В по предложенному соотношению:

$$h(CH_4, U_{ш}) = \frac{U(CH_4, U_{ш}) - U(CH_4 = 30\%, U_{ш})}{U_{ш}}, \quad (3)$$

где h – отношение сигнал/шум выходного напряжения *ИП*;

$U_{ш}$ – амплитудное значение шума выходного напряжения *ИП*, величина которого составляет 10 мВ.

Отношение сигнал/шум выходного напряжения *КЗ* после линейаризации характеристики преобразования можно оценить по соотношению:

$$h_{лин}(CH_4, U_{ш}) = \frac{U_{лин}(CH_4, U_{ш} = 0 \text{ В})}{U_{лин}(CH_4, U_{ш}) - U_{лин}(CH_4, U_{ш} = 0 \text{ В})}, \quad (4)$$

где $h_{\text{лин}}$ – отношение сигнал/шум выходного напряжения $KЗ$ после линеаризации характеристики преобразования $ИП$.

Отношение сигнал/шум выходных напряжений $ИП$ и $KЗ$ до и после линеаризации приведено на рис. 4.

Для оценки эффективности разработанного способа линеаризации характеристики преобразования $ИП$ с точки зрения повышения чувствительности и точности измерителя, авторами предложен следующий критерий, который учитывает отношение сигнал/шум выходных напряжений измерителя (3, 4) и его чувствительности от изменения концентрации метана, и может быть рассчитан по следующему соотношению:

$$k(CH_4, U_{ш}) = \frac{h_{\text{лин}}(CH_4, U_{ш}) \cdot S_{\text{лин}}(CH_4, U_{ш})}{h(CH_4, U_{ш}) \cdot S(CH_4, U_{ш})}, \quad (5)$$

где k – отношение произведений сигнал/шум выходного напряжения $KЗ$ (4) на ее чувствительность после линеаризации к произведению сигнал/шум выходного напряжения $ИП$ (3) на чувствительность до линеаризации.

Зависимость изменений (5) от концентрации метана в двух диапазонах: от 0 до 30^{об.%} и от 30 до 100^{об.%} приведен на рис. 5. Для сопоставления полученных результатов и совмещения масштабов на рис. 5 в диапазоне изменений концентраций метана от 0 до 30^{об.%} $k(CH_4, U_{ш})$ приведен в минус первой степени.

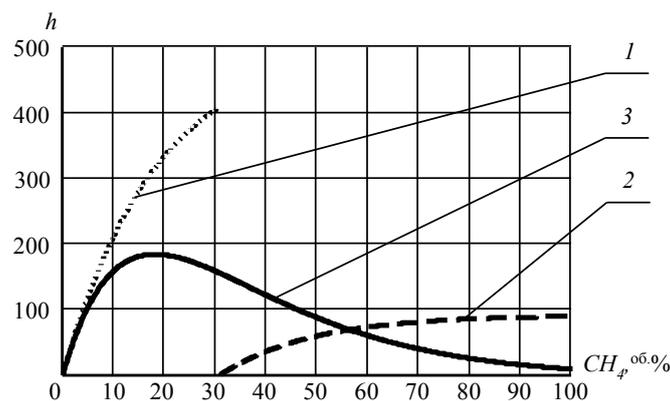


Рис. 4 – Изменение отношения сигнал/шум выходных напряжений:
 1 – $ИП$ в диапазоне изменения концентрации метана от 0 до 30^{об.%};
 2 – $ИП$ CH_4 от 30 до 100^{об.%}; 3 – $KЗ$ CH_4 от 0 до 100^{об.%}

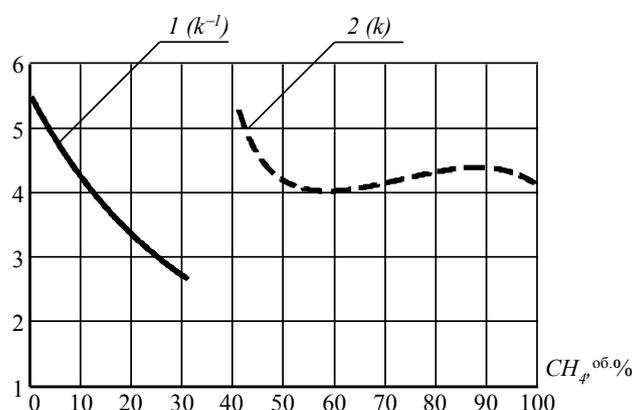


Рис. 5 – Изменение $k(CH_4, U_{ш})$ от изменения концентрации метана в двух диапазонах: 1 – от 0 до 30^{об.%}, причем k^{-1} ; 2 – от 30 до 100^{об.%}

Из анализа полученных результатов (см. рис. 5) следует, что при использовании разработанного способа в диапазоне измерений концентрации метана от 0 до 30 об. % снижается чувствительность и точность практически в (5,5 – 2,5) раза в зависимости от изменяемой концентрации. В диапазоне же от 30 до 100 об. % получено повышение чувствительности и точности в (4 – 5) раза при использовании разработанного способа программной линеаризации.

Выводы Разработан и исследован макетный образец оптического измерителя концентрации метана. При лабораторных испытаниях получена чувствительность выходного напряжения к изменению концентрации метана, величина которой составляет 0,25 В/об. % в диапазоне от 0 до 2,5 об. %, Абсолютная аддитивная погрешность измерений концентрации метана в этом диапазоне составляет не более ±0,02 об. %, что на порядок меньше требуемой величины. Предложен способ повышения чувствительности и точности оптического измерителя высоких концентрации метана, который основан на линеаризации его характеристики преобразования с умножением на ее обратную функцию программными методами цифровой обработки результатов измерений, что позволило повысить чувствительность и точность измерителя в 4 раза в диапазоне высоких концентраций от 30 до 100 об. %.

Список литературы: 1. *Медведев В. Н.* Повышение достоверности информации при многокомпонентном контроле шахтной атмосферы / *В. Н. Медведев, Беляева Е. В., Скляр А. Л. [и др.]* // Сборник научных трудов «Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах». – 2006. – № 18. – С. 21–129. 2. *Голинько В. И.* Исследование работоспособности термодатчиков метана после их длительной эксплуатации / *В. И. Голинько, А. В. Белоножко* // Науковий вісник НГУ. – 2006. – №10. – С. 72-75. 3. Методы и средства аналитического измерения концентрации газовых компонент и пыли в рудничной атмосфере угольных шахт / *А. В. Вовна [и др.]*. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 260 с. 4. Пат. 96662 С2. Україна, МПК G 01 N 21/000. Пристрій для вимірювання концентрації газів / *О. В. Вовна, А. А. Зорі, В. Д. Коренев, О. Г. Ликов; М. Г. Хламов; Державний вищий навчальний заклад «Донецькій національний технічний університет» (Україна).* – № а201004144; заявл. 09.04.2010; опубл. Бюл. № 22 від 25.11.2011.

Надійшла до редколегії 28.02.2013

УДК 543.421:621.38

Способ повышения чувствительности и точности оптического измерителя концентрации метана / А. В. Вовна, А. А. Зори, В. Д. Коренев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 18 (991). – С. 98-103. – Бібліогр.: 4 назв.

Запропонований спосіб підвищення чутливості та точності оптичного вимірювача концентрації метану, який заснований на лінеаризації його характеристики перетворення з помноженням на її зворотну функцію програмними методами цифрової обробки результатів вимірювань, що дозволило підвищити чутливість і точність вимірювача в 4 рази в діапазоні високих концентрацій від 30 до 100 об. %.

Ключові слова: вимірювач, метан, спосіб, лінеаризація, чутливість, точність.

The method for optical methane measurer sensitivity and accuracy increasing was provided which is based on the conversion characteristics linearization with multiplication on its inverse function by digital techniques software measurement of results, thus improving the sensitivity and accuracy of the measurer in 4 times in the high methane concentrations from 30 to 100 vol. %.

Keywords: measurer, methane, method, linearization, sensitivity, accuracy.