

время  $T(R) = O(\log_2 N)$ , где  $N$  – заданная граница вариации степени полинома. Наряду с рассматриваемыми полиномиальными приближениями функции одновременно выполнимо параллельное вычисление ее производных и определенных интегралов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голубков Ю.А. К правильному выбору алгоритмов аппроксимации функций для ЭВМ, работающих в реальном масштабе времени // Электронные вычислительные машины. – М.: ИТМ и ВТ АН СССР, 1965. – Вып. 3. – С. 115-154.
2. Лебедев В.Н. Введение в системы программирования. – М.: Статистика, 1975. – 312 с.
3. Солодовников В.И. Верхние оценки сложности, решения систем линейных уравнений. – В кн.: Теория сложности вычислений. Ч. I: Записки научных семинаров ЛОМИ АН СССР. – Л. – 1982. Т. 118. – С. 159-187.
4. Котов В.Е. О связи алгебраических и архитектурных аспектов параллельных вычислений. – В кн.: Вычислительные процессы и системы / Под ред. Г.И. Марчука. – М.: Наука, 1983. – С. 54-80.
5. Аксайская Л.Н. Разработка и исследование параллельных схем цифровой обработки сигналов на основе минимизации временной сложности вычисления функций. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Таганрог: ЮФУ, 2008. – 18 с.
6. Джанунц Г.А. Компьютерный метод кусочно-полиномиального приближения решений обыкновенных дифференциальных уравнений в применении к моделированию автокаталитических реакций. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Таганрог: ЮФУ, 2012. – 22 с.
7. Пулькин С.П., Никольская Л.Н., Дьячков А.С. Вычислительная математика. – М.: Просвещение, 1980. – 176 с.
8. Ромм Я.Е. Локализация и устойчивое вычисление нулей многочлена на основе сортировки. Ч. II // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – № 2. – С. 161-174.
9. Stone H.S. Problems of parallel computation. – In: Complexity of Sequent. Paral Numer. Algor. // Ed. T.F. Traub. N.Y.: Acad. Press, 1973. – P. 1-16.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Л.П. Фельдман.

**Ромм Яков Евсеевич** – ФГБОУ ВПО "Таганрогский государственный педагогический институт им. А.П. Чехова"; e-mail: romm@list.ru; 347926, г. Таганрог, ул. Инициативная, 48; тел.: 88634601753, 88634601812, 88634601807; 89094081126; д.т.н.; профессор; член Европейской Академии Естественных Наук (EuANH); зав. кафедрой информатики.

**Стаховская Ирина Илларионовна** – e-mail: irihkast@gmail.ru; тел.: 89034604006; студентка.

**Romm Yakov Evseevich** – Taganrog State Pedagogical Institute; e-mail: romm@List.ru; 48, Initiativnaya street, 347926, Russia; phones: +78634601753, +78634601812, +78634601807, +79094081126; dr. of eng. sc.; professor; the member of European Academy of Natural History (EuANH); head of the chair of information science.

**Stakhovskaya Irina Illarionovna** – e-mail: irihkast@gmail.ru; phone: +79034604006; student.

УДК 543.421:621.38

**А.В. Вовна, А.А. Зори**

#### **СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДРЕЙФА ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗА**

*Рассмотрены вопросы повышения точности измерительного контроля концентрации метана оптико-абсорбционного газоанализатора. Разработан и исследован макетный образец быстродействующего оптического измерителя концентрации метана. Установлено: чувствительность по выходному напряжению составляет порядка 0,51 В<sup>об.</sup>%, абсолютная аддитивная погрешность измерения концентрации метана  $\pm 0,02^{об.}\%$ , что на порядок меньше, чем абсолютная погрешность измерения концентрации метана (не более*

$\pm 0,2$  об.%) в диапазоне от 0 до 4,0 об.%. Разработан и реализован способ компенсации температурного дрейфа измерителя концентрации газа, который в качестве термочувствительного элемента использует светодиод. Аппаратная реализация разработанного способа позволила оценить его эффективность: величина дополнительной погрешности измерения концентрации метана обусловленной изменением температуры составила не более  $\pm 0,1$  об.%, что в 4 раза меньше требуемой.

*Измеритель; метан; точность; температура; способ; компенсация.*

**A.V. Vovna, A.A. Zori**

### **THE TEMPERATURE DRIFT COMPENSATION METHOD OF THE GAS CONCENTRATION OPTIC METER**

*The problems of the measuring control's accuracy improving of the concentration methane optical-absorption analyzer are considered. The scale-model of the high-speed optical methane concentration measuring has been developed and investigated. It is established, that the sensitivity of the output voltage is about 0.51 V<sup>vol.%</sup>, the absolute additive error of the methane concentration measurement is  $0,02 \pm$  vol.%, that is much smaller than the absolute error of the methane concentration measurement (up to  $0,2 \pm$  vol.%) in the range from 0 to 4.0 vol.%. The way of the thermal drift compensation of the gas concentration measuring has developed and implemented, where LED is used as thermosensitive element. The hardware implementation of the developed method has allowed to evaluate its effectiveness: the value of the additional error due to the methane concentration measurement changing in temperature is not more than  $0,1 \pm$  vol.%, which is 4 times less than it is required.*

*Measurer; methane; accuracy; temperature; method; compensation.*

**Общая постановка проблемы.** Основными достоинствами оптических измерителей концентрации газов являются высокое быстродействие, чувствительность и точность измерений. Поэтому разработка новых и усовершенствование существующих оптических средств измерительного контроля концентрации взрывоопасных и токсичных газов в условиях промышленных предприятий и угольных шахт остается актуальной задачей.

**Постановка задачи исследования.** При разработке и исследовании макетного образца измерителя концентрации метана, основанного на оптико-абсорбционном методе измерительного контроля концентрации газов [1], возникла задача улучшения его метрологических характеристик. Согласно требований [2], значение основной абсолютной погрешности данного типа измерителей концентрации метана должно составлять  $\pm 0,2$  об.%) в диапазоне от 0 до 4,0 об.%. Величина дополнительной абсолютной погрешности измерений от изменения доминирующего дестабилизирующего фактора – температуры в диапазоне от +5 до +35 °C – не должна превышать удвоенного значения основной погрешности измерений [2]. Для повышения точности измерителя путем компенсации температурного дрейфа его выходного сигнала необходимо разработать способ компенсации влияния температуры и средства для его аппаратной реализации.

**Решение задачи и результаты исследования.** В Государственном высшем учебном заведении «Донецкий национальный технический университет» (г. Донецк, Украина) разработан и создан макетный образец быстродействующего оптико-абсорбционного измерителя концентрации метана. Макетный образец состоит из оптической ячейки, включающей светодиод (СИД) *Lms34LED* и фотодиод (ФД) *Lms36PD-05* с предусилителем (ПУ); источника тока (ИТ) для питания СИД; амплитудного детектора (АД) и нормирующего усилителя (НУ). Структурная схема разработанного макетного образца измерителя приведена на рис. 1.

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<sup>06</sup>%. Чувствительность макетного образца измерителя по выходному напряжению составляет порядка 0,51 В/<sup>06</sup>%.

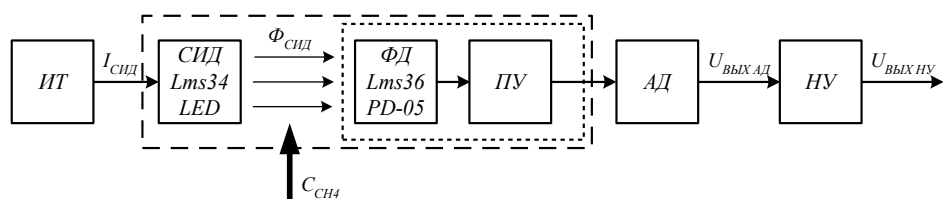


Рис. 1. Структурная схема макетного образца измерителя концентрации метана

Для исследования влияния изменения температуры окружающей среды на метрологические характеристики макетного образца измерителя проведены лабораторные испытания с использованием термостата. Температура в термостате изменялась в диапазоне от +21 до +30°C, с величиной абсолютной погрешности установки температуры не более ±1°C. При проведении лабораторных испытаний получена зависимость изменения выходного напряжения макетного образца измерителя от температуры, которая приведена на рис. 2, где × – результаты экспериментальных данных; ———— – результаты аппроксимации выходного напряжения измерителя концентрации метана от температуры определяется уравнением вида:

$$u = S_t \cdot t + u_0, \quad (1)$$

где  $S_t = 0,57 \text{ В/}^\circ\text{C}$  – чувствительность по выходному напряжению макетного образца к изменению температуры в диапазоне от +21 до +30°C;  $u_0 = -12,3 \text{ В}$  – выходное напряжение измерительного канала при температуре 0°C.

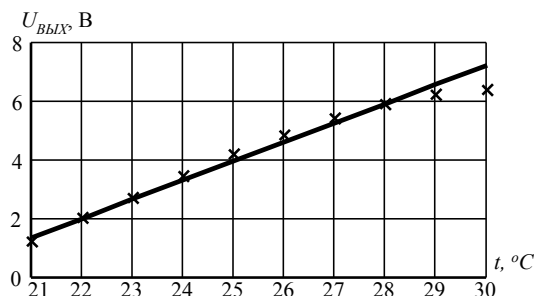


Рис. 2. Зависимость выходного напряжения измерителя от изменения температуры окружающей среды в диапазоне от +21 до +30°C

Из анализа результатов экспериментальных данных следует, что чувствительность выходного напряжения измерителя при изменении температуры окружающей среды (0,57 В/°C) соизмерима с чувствительностью измерителя по измеряемому параметру – концентрации метана (0,51 В/<sup>06</sup>%). Согласно [2], величина дополнительной абсолютной погрешности измерений концентрации метана от изменения температуры в диапазоне от +5 до +35°C (20±15)°C не должна превышать ±0,4<sup>06</sup>% (удвоенного значения основной абсолютной погрешности). Считая, что дополнительная абсолютная погрешность измерений концентрации метана, обусловленная изменением температуры, является линейной функцией температуры, то изменение дополнительной погрешности на 1°C не должно превышать

$$\Delta S_t^{mp} = \frac{\Delta_{CH4}^0}{\Delta t} = \frac{\pm 0,4}{15} = \pm 0,027 \frac{\text{об.}\%}{^\circ\text{C}},$$

а ее значение для макетного образца по результатам лабораторных испытаний составило

$$\Delta S_t^g = \frac{S_t}{S_{CH4}} = \frac{\pm 0,57}{0,51} = \pm 1,12 \frac{\text{об.}\%}{^\circ\text{C}}.$$

Следовательно, полученный результат превышает в 42 раза требуемую [2] величину, при этом дополнительная абсолютная погрешность измерений концентрации метана от изменения температуры макетного образца составляет  $\pm 16,6$  об.%. Из анализа полученных результатов следует, что измерение концентрации метана разработанным средством измерения возможно только при учете и компенсации изменения температуры окружающей среды. Поэтому возникает задача разработки наиболее простого и эффективного способа компенсации температурного дрейфа выходного сигнала измерителя концентрации метана.

Из проведенного анализа существующих способов компенсации температуры следует, что наиболее простым является способ, основанный на использовании дополнительного компенсационного канала. Выходной сигнал данного канала содержит только информацию об изменении компенсируемого дестабилизирующего фактора – температуры. При схемотехнической реализации данного способа получено, что дополнительная погрешность от изменения температуры не превышает  $\pm 0,2$  об.%, что в 2 раза меньше требуемой. Однако использование данного способа существенно увеличивает как сложность схемотехнического решения, так и стоимость измерительного преобразователя, практически вдвое.

Второй способ компенсации температуры заключается во введении термочувствительного элемента в схему измерительного преобразователя. Информация об изменении температуры окружающей среды преобразовывается в электрический сигнал с последующим масштабированием и вычитанием из сигнала основного измерительного канала по дифференциальной схеме. Реализация данного способа также затруднена из-за существенного разброса характеристик оптоэлектронных компонент измерителя, а также с трудностями последующего подбора необходимых температурных коэффициентов компенсационного канала, что также требует индивидуальной градуировки измерителя по температуре.

Авторами предложено в качестве термочувствительного элемента использовать один из оптоэлектронных компонентов измерителя. При этом компенсация температурного дрейфа будет наиболее результативной и не потребует индивидуальной градуировки по температуре каждого измерительного канала в отдельности. Как показывают теоретические модели [1] и экспериментальные исследования разработанного макетного образца измерителя, основной вклад в температурную нестабильность его выходного сигнала оказывает температурный дрейф СИД. Изменение характеристик и параметров ФД от температуры вносит незначительный вклад в общую температурную нестабильность выходного сигнала измерительного канала, так как ФД *Lms36PD-05* эксплуатируется в фотогальваническом режиме включения. Отличительной особенностью работы ФД в этом режиме является независимость его тока от температуры окружающей среды. Температурный дрейф аналоговых измерительных преобразователей также незначительный по сравнению с дрейфом напряжения на СИД *Lms34LED*.

При проведении экспериментальных исследований выявлено, что температурный дрейф СИД существенно зависит от режима его работы. Питание осуществляется импульсами тока с амплитудой от 0,4 до 1,2 А при длительности импульсов 20 мкс с частотой 500 Гц. Сквозность импульсов тока составляет 100, при

этом величина среднего значения тока, протекающего через СИД, составляет от 4 до 12 мА. Зависимость изменения напряжения на СИД от температуры составляет –  $(1,3 \pm 0,2) \text{ мВ}/^\circ\text{C}$  [3]. При проведении лабораторных испытаний получена зависимость изменения напряжения на СИД от температуры, которая приведена на рис. 3, где  $\times$  – результаты экспериментальных данных; ———— – зависимость изменения напряжения на СИД от температуры, рассчитанная по теоретической модели линейного вида (1), где  $S_{ut} = -1,35 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$  – температурный коэффициент напряжения на СИД;  $u_{0 \text{ СИД}} = 0,179 \text{ В}$  – напряжение на СИД при температуре  $0^\circ\text{C}$ .

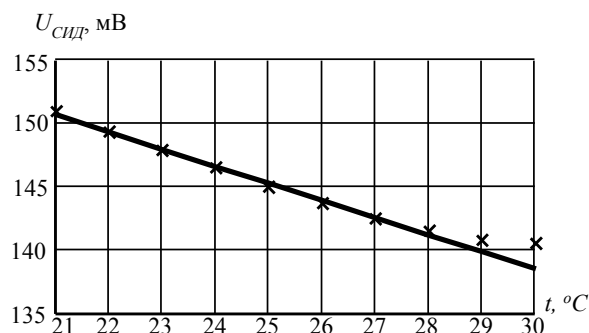


Рис. 3. Зависимость падения напряжения на СИД от изменения температуры окружающей среды в диапазоне от  $+21$  до  $+30^\circ\text{C}$

Полученный компенсационный сигнал  $U_{\text{СИД}}$  масштабируется с последующим вычитанием из информационного сигнала измерительного канала  $U_{\text{ВЫХ АД}}$  по дифференциальной схеме включения. Аппаратная реализация разработанного способа компенсации позволила оценить его эффективность. При проведении лабораторных испытаний макетного образца измерителя с компенсацией изменения температуры получена зависимость  $U_{\text{ВЫХ НУ}}$  от температуры, приведенная на рис. 4, где  $\times$  – результаты экспериментальных данных, - - - - - – кусочно-линейная аппроксимация результатов экспериментальных данных.

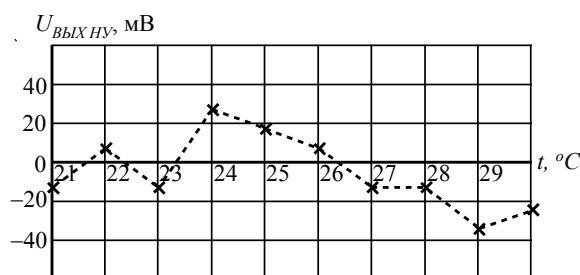


Рис. 4. Изменение выходного напряжения макетного образца от изменения температуры окружающей среды в диапазоне от  $+21$  до  $+30^\circ\text{C}$

Из анализа полученных экспериментальных данных (см. рис. 4) следует, что максимальное значение амплитуды  $U_{\text{ВЫХ НУ}}$  от изменения температуры не превышает  $\pm 40 \text{ мВ}$ . При этом величина дополнительной погрешности измерения концентрации метана, обусловленной изменением температуры составляет не более  $\pm 0,1 \text{ об.}\%$ , что в 4 раза меньше, чем требуемая и полностью удовлетворяет поставленным техническим требованиям к разрабатываемому измерителю.

**Выводы**

1. Разработан и исследован макетный образец быстродействующего оптического измерителя концентрации метана. Установлено: чувствительность по выходному напряжению составляет порядка 0,51 В/°%, абсолютная аддитивная погрешность измерения концентрации метана  $\pm 0,02^{\circ\%}$ , что на порядок меньше, чем абсолютная погрешность измерения концентрации метана (не более  $\pm 0,2^{\circ\%}$ ) в диапазоне от 0 до 4,0 °%.

2. Разработан и реализован способ компенсации температурного дрейфа измерителя концентрации газа, который в качестве термочувствительного элемента использует светодиод. Аппаратная реализация разработанного способа позволила оценить его эффективность: величина дополнительной погрешности измерения концентрации метана обусловленной изменением температуры составила не более  $\pm 0,1^{\circ\%}$ , что в 4 раза меньше требуемой.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Вовна А., Зори А., Хламов М.* Методы и средства измерения концентрации газовых компонент. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 244 с. – Режим доступа: <https://www.lap-publishing.com/catalog/>. – ISBN-13: 978-3-8484-2767-3; ISBN-10: 3848427672; EAN: 9783848427673.
2. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания: ДСТУ ГОСТ 24032:2009. – [Действующий от 2009-02-01]. – Киев: Держспоживстандарт, 2009. – 24 с.
3. Ioffe Physico-Technical Institute [Электронный ресурс] / Mid-IR Diode Optopair Group (MIRDOG). – Электронные данные. – Режим доступа: <http://mirdog.spb.ru>. – Дата доступа: январь 2013. – Загл. с экрана.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Е. Панич.

**Вовна Александр Владимирович** – Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет»; e-mail: [Vovna\\_Alex@ukr.net](mailto:Vovna_Alex@ukr.net); 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, Украина; тел.: +380623045571; +380623010918; кафедра электронной техники; к.т.н.; доцент.

**Зори Анатолий Анатоліевич** – кафедра электронной техники; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

**Vovna Aleksander Vladimirovich** – State Higher Education Establishment “Donetsk National Technical University”; e-mail: [Vovna\\_Alex@ukr.net](mailto:Vovna_Alex@ukr.net); 58, Artyom street, Donetsk, 83001, Ukraine; phone: +380623045571; +380623010918; the department of electronic technics; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Zori Anatolii Anatolievich** – the department of electronic technics; the head of department; dr. of eng. sc; professor.

УДК 621.396

**С.В. Шапка**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ НА БАЗЕ ПЛИС ДЛЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО МАСШТАБА ВРЕМЕНИ**

*Рассмотрены методы повышения эффективности аппаратной реализации корреляционно-экстремальных алгоритмов цифровой обработки изображений на базе микросхем с программируемой логической структурой (ПЛИС). Сформулированы основные критерии оценки эффективности аппаратной реализации алгоритмов с точки зрения их использования в современных оптико-электронных системах. Показаны критические для разработки*