

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**



**НАУКОВІ ПРАЦІ  
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Серія: “Обчислювальна техніка  
та автоматизація”*

*№ 1(26) 2014*

Донецьк  
2014

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**НАУКОВІ ПРАЦІ  
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Серія: “Обчислювальна техніка  
та автоматизація”*

*Всеукраїнський науковий збірник*

*Заснований у липні 1998 року*

*Виходить 2 рази на рік*

*№ 1(26) 2014*

Донецьк  
2014

УДК 681.5: 658.5: 621.3

Друкується за рішенням Вченої ради державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (протокол № 6 від 20.06.2014).

У збірнику опубліковано статті науковців, аспірантів, магістрів та інженерів провідних підприємств і вищих навчальних закладів України, в яких наведено результати наукових досліджень та розробок, виконаних у 2013-2014 роках згідно напрямків: автоматизація технологічних процесів, комп'ютерні інформаційні технології, інформаційно-вимірювальні системи, електронні і мікропроцесорні прилади.

Матеріали збірника призначено для викладачів, наукових співробітників, інженерно-технічних робітників, аспірантів та студентів, що займаються питаннями розробки і використання автоматичних, комп'ютерних і електронних систем.

**Засновник та видавець** – Донецький національний технічний університет.

**Редакційна колегія:** О.А. Мінаєв, чл-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф., головний редактор; Є.О. Башков, д-р техн. наук, проф., заступник головного редактора; Є.Б. Ковальов, д-р техн. наук, проф., відп. секретар випуску; Ахім Кінле д-р техн. наук, проф.; Іван Тауфер д-р техн. наук, проф.; А.А. Зорі, д-р техн. наук, проф.; О.Г. Воронцов, д-р техн. наук, проф.; Ю.О. Скобцов, д-р техн. наук, проф.; Н.І. Чичикало, д-р техн. наук, проф.; М.М. Заблодський, д-р техн. наук, проф.; В.В. Турупалов, канд. техн. наук, проф.; К.М. Маренич, канд. техн. наук, проф.; О.В. Хорхордін, канд. техн. наук, доц.; М.Г. Хламов, канд. техн. наук, доц.; Б.В. Гавриленко, канд. техн. наук, доц.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія КВ № 7376 від 03.06.2003.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (затверджено постановою президії ВАК України № 1-05/5 від 01. 07. 2010 р., надруковано в бюлетені ВАК №7, 2010).

Збірник включено до бібліографічної бази даних наукових публікацій Російський індекс наукового цитування (РІНЦ) ([http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=38108](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=38108))

## ЗМІСТ

Стор.

<b>Розділ 1 Автоматизація технологічних процесів</b>	5
<b>Борисов А.А.</b> Применение FF-, FB-, MFC-AGC регуляторов в концепции управления приводами клетей прокатного стана по мощности.	6
<b>Воротникова З.Е.</b> Формирование и использование архивной базы данных в системе «советчик оператора доменной печи»	14
<b>Суздаль В.С., Тавровский И.И., Соболев А.В., Кобылянский Б.Б.</b> Система с параметрической инвариантностью для процессов кристаллизации	24
<b>Лапта С.С., Масолова Н.В., Зиновьева Я.В.</b> Развитие теории моделирования переходного процесса в сложной гомеостатической системе	29
<b>Мироненко Л.П., Петренко И.В., Власенко А.Ю.</b> Интеграл Ньютона-Лейбница и вторая интегральная теорема о среднем	36
<b>Найденова Т.В., Федюн Р.В.</b> Синтез САУ процессом биохимической водоочистки	41
<b>Федюн Р.В.</b> Автоматичне управління занурювальними насосами водовідливу ліквідованих шахт	51
<b>Гарматенко А.М.</b> Алгоритм поиска кратковременной памяти в данных акустической эмиссии угольных пластов	61
<b>Розділ 2 Інформаційні технології та телекомунікації</b>	69
<b>Воропаєва А.О.</b> Розробка методу керування безпроводовими телекомунікаційними мережами нового покоління на основі застосування підходу максимізації завантаженості мережі	70
<b>Гостев В.И., Кунах Н.И., Артюшик А.С.</b> Аппроксимация звена чистого запаздывания для АQM-систем комплексной передаточной функцией звена Паде	77
<b>Дегтяренко И.В., Лозинская В.Н.</b> Динамические модели средств управления трафиком в сетевом узле	85
<b>Дмитриева О.А.</b> Оптимизация выполнения матрично-векторных операция при параллельном моделировании динамических процессов	94
<b>Євсєєва О.Г.</b> Використання комп'ютерно-орієнтованих засобів проектування і організації навчання математики на засадах діяльнісного підходу в технічному університеті	101
<b>Воропаєва В.Я., Жуковська Д.О.</b> Оцінка впливу алгоритмів обробки черг на показники QOS	111
<b>Воропаєва В.Я., Кабакчей В.И.</b> Выбор методов оценки количества меток в рабочей зоне RFID-ридера для достижения максимальной пропускной способности	119
<b>Кануннікова К.П., Червинський В.В.</b> Алгоритм динамічного регулювання споживаної потужності мікростілками гетерогенної мережі LTE	126
<b>Klymash M.M., Haider Abbas Al-Zayadi, Lavriv O.A.</b> Improving throughput using channel quality indicator in LTE technology	134

<b>Мірошкін О.М.</b> Модифікація системи адресації мікрокоманд у пристрої керування при його реалізації у базисі гібридних FPGA	144
<b>Молоковский И.А.</b> Моделирование процессов распространения радиоволн в подземной части угледобывающего предприятия	152
<b>Пасічник В.В., Назарук М.В.</b> Інформаційно-технологічний супровід системних трансформацій вітчизняної освітньої галузі	160
<b>Батыр С.С., Хорхордин А.В.</b> Особенности оценки эффективности методов управления очередью маршрутизатора	169
<b>Розділ 3 Інформаційно-вимірювальні системи, електронні та мікропроцесорні прилади</b>	177
<b>Вовна А.В., Зори А.А.</b> Оптический измеритель концентрации метана с аппаратно-программной компенсацией температурного дрейфа	178
<b>Жукова Н.В., Литвинов В.И., Голиков В.В.</b> Лабораторный стенд регулируемого линейного асинхронного электропривода – аналога электропривода постоянного тока	189
<b>Кузнецов Д.Н., Чупис Д.А.</b> Исследование физической модели ступенчатого испытательного воздействия для определения динамических характеристик термопреобразователей	202
<b>Куценко В.П.</b> Математичне моделювання властивостей діелектричних матеріалів при використанні мікрохвильових експертних систем	210
<b>Лыков А.Г., Косарев Н.П.</b> Исследование влияния ширины спектра излучения источника на чувствительность измерительных каналов газоанализаторов выхлопных газов автомобильного транспорта	218
<b>Штепа А.А.</b> Обоснование концепции структурно алгоритмической организации модульной компьютеризированной информационно-измерительной системы электрофизиологических сигналов	226

**Розділ 3**  
**Інформаційно-вимірювальні системи,  
електронні та мікропроцесорні прилади**

УДК 543.421:621.38

**А.В. Вовна (канд. техн. наук, доц.), А.А. Зори (д-р техн. наук, проф.)**  
ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк  
кафедра электронной техники  
e-mail: Vovna\_Alex@ukr.net, zori@kita.dgtu.donetsk.ua

## **ОПТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА С АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДРЕЙФА**

*Разработан и реализован экспериментальный образец оптического измерителя концентрации метана. Предложен способ аппаратно-программной компенсации температурного дрейфа оптического измерителя, в котором использован для аппаратной компенсации в качестве температурно-чувствительного элемента светодиод, а для программной – датчик температуры. Аппаратно-программная реализация разработанного способа позволила повысить его точность: величина дополнительной погрешности измерения концентрации метана обусловленной изменением температуры составила не более  $\pm 0,09$  об.%, что в 4,5 раза меньше требуемого значения по техническому заданию на разработку измерителя (не более  $\pm 0,4$  об.%). При этом, в диапазоне измерения концентрации метана от 0 до 4 об.% основная абсолютная погрешность не должна превышать  $\pm 0,2$  об.%, а дополнительная погрешность – удвоенного значения основной погрешности измерения.*

**Ключевые слова:** измеритель, метан, способ, компенсация, температура, погрешность.

### **Общая постановка проблемы**

Увеличение глубины разработок угля, возрастание частоты и интенсивности газодинамических явлений, внезапных выбросов метана приводит к повышению вероятности возникновения взрывоопасной ситуации и ухудшения условий труда горняков. В условиях угольных шахт наличие агрессивной среды и большого количества дестабилизирующих факторов, влияющих на результат измерения (температура [1], запыленность [2], влажность и др.), не позволило до настоящего времени создать быстродействующие газоаналитические измерители с необходимыми показателями точности и метрологической надежности. В значительной степени эту проблему, возможно, решить с использованием новейших систем оптического контроля концентрации метана в горных выработках угольных шахт [3], которые основаны на современной информационно-измерительной технике. Следовательно, разработка и внедрение оптических измерителей для контроля концентрации газовых компонентов в реальном масштабе времени с требуемыми метрологическими характеристиками в атмосфере угольных шахт является актуальной проблемой.

### **Постановка задач исследования**

Целью работы является повышение точности измерителя концентрации метана путем разработки способа аппаратно-программной компенсации температурного дрейфа его выходного сигнала, что позволит уменьшить доминирующую дополнительную погрешность измерения концентрации метана, обусловленную изменением температуры.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

- разработать и провести лабораторные испытания экспериментального образца оптического измерителя концентрации метана;
- оценить основную и дополнительную погрешности измерений концентрации метана;
- разработать способ аппаратно-программной компенсации температурного дрейфа выходного сигнала измерителя;
- оценить точность предложенного способа компенсации температурного дрейфа.

### Результаты разработки и исследований

Разработанный экспериментальный образец измерителя концентрации метана с аппаратной компенсацией температурного дрейфа [1], включает:

– измерительную оптическую кювету с однопроходной оптической ячейкой и линзами, включающую светодиод Lms34LED и фотодиод Lms36PD с предусилителем, с длиной оптического пути 34 мм;

– компенсационную оптическую кювету с однопроходной оптической ячейкой и линзами, включающую светодиод Lms38LED и фотодиод Lms43PD с предусилителем, с длиной оптического пути 34 мм;

– аналоговые измерительные каналы, в составе: драйвера для светодиода; синхронного детектора; нормирующего усилителя с аналоговой компенсацией температурного дрейфа светодиодов Lms34LED и Lms38LED.

– четырехканальный 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь с записью данных в персональный компьютер через USB порт (Arduino DUE).

Для компенсации температурного дрейфа выходных напряжений измерительного (*ИК*) и компенсационного (*КК*) каналов разработан способ [4] и устройство [5] его аппаратной компенсации. Для реализации данного способа использованы зависимости температурного дрейфа напряжения на светодиодах. При этом светодиоды питаются от импульсного источника тока, который имеет следующие характеристики:

1. Амплитуда ток накачки светодиода, А
  - измерительная ячейка Lms34LED – Lms36PD 1,0;
  - компенсационная ячейка Lms38LED – Lms43PD 0,77;
2. Длительность импульса, мкс 20;
3. Частота импульсной последовательности, Гц 500.

Температурный дрейф выходных напряжений измерительного и компенсационного каналов измерителя обусловлен температурной зависимостью интенсивности излучения светодиодов. С ростом температуры их интенсивность излучение падает, что обусловлено следующими причинами: безызлучательной рекомбинацией через глубокие примесные уровни; рекомбинацией на поверхности; потерей носителей в барьерных слоях гетероструктур. Температурная зависимость интенсивности излучения светодиодов является чисто фемениологической, основанной практически на экспериментальных данных. При этом температурную зависимость интенсивности излучения светодиодов в узком диапазоне его рабочих температур описывают фемениологическим уравнением вида [6]:

$$I(T) = I(T_0) \cdot \exp\left(-\frac{T - 300K}{T_1}\right), \quad (1)$$

где  $I(T_0)$  – интенсивность излучения светодиода при температуре  $T_0 = 300$  К ;

$T_1$  – характеристическая температура конкретного светодиода.

При низких значениях характеристической температуры (менее 100 К) температурная зависимость интенсивности излучения светодиода достаточна велика. Для определения температурной зависимости светодиодов, используемых в измерителе концентрации метана, проведены лабораторные испытания *ИК* (LED34) и *КК* (LED38) [7] с использованием термостата. В ходе проведения испытаний получены характеристики преобразования выходных напряжений синхронных детекторов *ИК* и *КК* измерителя от температуры в диапазоне от +5 до +35°C, графики которых приведены на рисунке 1. На рисунке 1 обозначено: **×** – экспериментальные данные выходного напряжения синхронного детектора *ИК* от температуры; **+** – *КК* от температуры; ——— – результаты аппроксимации характеристик преобразования выходных напряжений синхронных детекторов *ИК* и *КК* от

температуры уравнением вида:

$$U_{CD}(T) = U_{CD}(T_0) \cdot \exp\left(-\frac{T-T_0}{T_1}\right) - U_{0CD} = U_{CD}(T_0) \cdot \left(\exp\left(-\frac{T-T_0}{T_1}\right) - k_{0CD}\right), \quad (2)$$

где  $U_{CD}(T_0)$  – выходное напряжение синхронного детектора при температуре  $T_0$ , для ИК  $T_0 = 308 \text{ K} = +35^\circ\text{C}$  при этом  $U_{CD \text{ ИК}}(T_0 = +35^\circ\text{C}) = 8,25 \text{ В}$ , а для КК  $T_0 = 303 \text{ K} = +30^\circ\text{C}$  при этом  $U_{CD \text{ КК}}(T_0 = +30^\circ\text{C}) = 7,2 \text{ В}$ ;

$T_1$  – характеристическая температура для ИК LED34  $T_1 = 83 \text{ K}$ , а для КК LED38  $T_1 = 95 \text{ K}$ ;

$U_{0CD}$  – постоянная составляющая выходного напряжения синхронного детектора, которая определена как произведение аппроксимирующего коэффициента  $k_{0CD}$  на  $U_{CD}(T_0)$ , при этом для ИК составляет  $k_{0CD \text{ ИК}} = 0,60$ , а для КК –  $k_{0CD \text{ КК}} = 0,61$ .

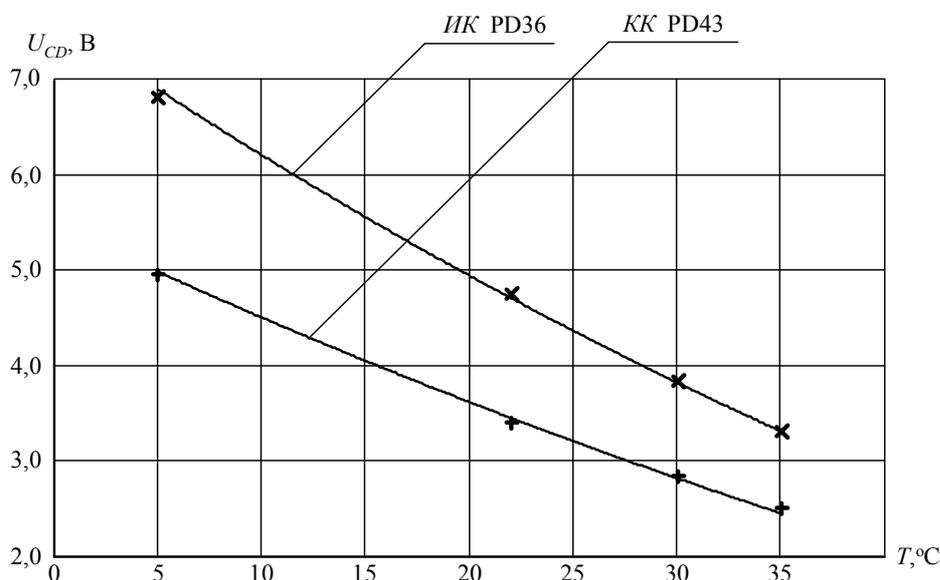


Рисунок 1 – Температурные характеристики выходных напряжений синхронных детекторов ИК и КК измерителя в диапазоне температур от +5 до +35°C

Для аппаратной компенсации температурного дрейфа выходных напряжений синхронных детекторов ИК и КК предложено [1] выполнять измерения падений напряжений на светодиодах, значение которых пропорциональны изменению температуры. Измерение падения напряжения на каждом из светодиодов осуществляется путем подачи импульса тока амплитудой 12 мА. Данное значение обеспечивает минимальный саморазогрев кристалла светодиода. Длительность импульса составляет 20 мкс при частоте импульсной последовательности 500 Гц. Основная и дополнительная импульсные последовательности синхронизированы и разнесены во времени.

Дополнительная импульсная последовательность после прохождения через светодиод детектируется по переднему фронту и поступает на дифференциальный усилитель с интегрирующей цепочкой на входе. Выходное напряжение дифференциального усилителя пропорционально температуре светодиода. При проведении лабораторных испытаний с использованием термостата получены характеристики преобразования напряжения светодиодов измерительного (LED34) и компенсационного (LED38) каналов измерителя от

температуры в диапазоне от +5 до +35°C, графики которых приведены на рисунке 2. На рисунке 2 обозначено: **×** – экспериментально данные напряжения от температуры для светодиода измерительного канала (ИК) LED34; **+** – для светодиода компенсационного канала (КК) LED38; ——— – результаты аппроксимации температурной характеристики напряжения светодиодов уравнением вида:

$$U_{LED}(T) = U_{0LED} + k_{LED} \cdot T, \quad (3)$$

где  $U_{0LED34} = 3,65 \text{ В}$ ,  $k_{LED34} = -0,036 \text{ В/}^\circ\text{С}$  – коэффициенты аппроксимации для ИК LED34;  
 $U_{0LED38} = 2,57 \text{ В}$ ,  $k_{LED38} = -0,034 \text{ В/}^\circ\text{С}$  – для КК LED38.

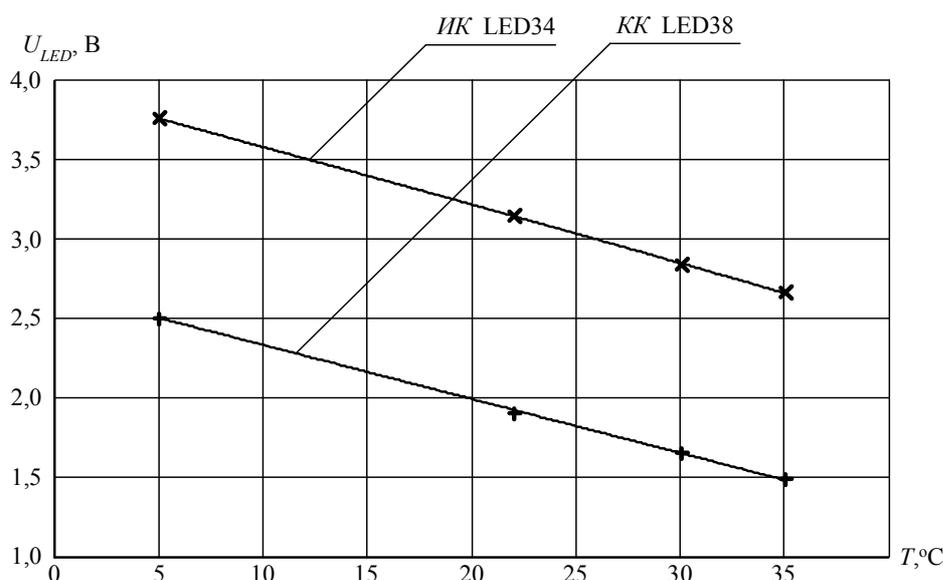


Рисунок 2 – Температурные характеристики напряжения светодиодов в диапазоне температур от +5 до +35°C

Полученные два сигнала напряжения: на выходе синхронного детектора канала и падения напряжения на светодиоде, масштабируют с последующим вычитанием и масштабированием для цифровой обработки результатов измерений по следующему соотношению:

$$U_{ВЫХ}(C_{CH4}, T) = K_C \cdot (K_{LED} \cdot (U_{LED}(T) - U_{CM}) - U_{CD}(C_{CH4}, T)), \quad (4)$$

где  $C_{CH4}$  – измеряемая концентрация метана;

$U_{LED}(T)$  – температурная характеристика падения напряжения на светодиоде;

$K_C, K_{LED}$  – масштабирующие коэффициенты, которые исключают мультипликативную составляющую погрешности результатов измерения концентрации метана от температуры; для ИК  $K_{C\ ИК} = 2,51$ ,  $K_{LED\ ИК} = 3,2$ , а для КК  $K_{C\ КК} = 2,2$ ,  $K_{LED\ КК} = 2,4$ ;

$U_{CM}$  – напряжение смещение, которое исключает аддитивную составляющую погрешности результатов измерения концентрации газа от температуры; для ИК  $U_{CM\ ИК} = 1,53 \text{ В}$ , а для КК  $U_{CM\ КК} = 0,42 \text{ В}$ .

При проведении лабораторных испытаний с использованием термостата получены характеристики преобразования выходных напряжений ИК и КК измерителя от температуры

в диапазоне от +5 до +35°C, графики которых приведены на рисунке 3. На рисунке 3 обозначено:  $\times$  – экспериментальные данные выходного напряжения ИК от температуры в диапазоне от +15 до +35°C;  $+$  – выходного напряжения КК от температуры LED38; —, - - - - - – результаты аппроксимации характеристик преобразования выходных напряжений по температуре ИК и КК, соответственно, уравнением вида:

$$U_{ВЫХ}(T) = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3, \quad (5)$$

где  $a_{0\text{ ИК}} = 202,33$  мВ,  $a_{1\text{ ИК}} = 89,11$  мВ/°С,  $a_{2\text{ ИК}} = -2,047$  мВ/°С<sup>2</sup>,  $a_{3\text{ ИК}} = -0,787$  мкВ/°С<sup>3</sup> – коэффициенты аппроксимации выходного напряжения ИК от изменения температуры в диапазоне от +5 до +35°C;

$a_{0\text{ КК}} = -168,32$  мВ,  $a_{1\text{ КК}} = 48,91$  мВ/°С,  $a_{2\text{ КК}} = -1,182$  мВ/°С<sup>2</sup>,  $a_{3\text{ КК}} = 3,426$  мкВ/°С<sup>3</sup> – выходного напряжения КК.

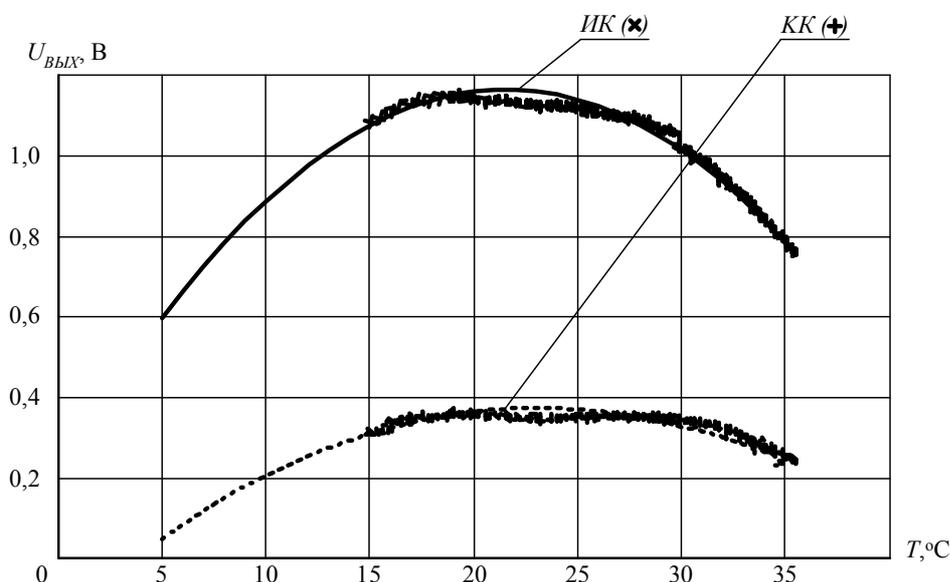


Рисунок 3 – Характеристики преобразования выходных напряжений ИК и КК измерителя в диапазоне температур от +5 до +35°C (экспериментальные данные в диапазоне температур от +15 до +35°C)

Для уменьшения влияния доминирующего дестабилизирующего фактора – изменение температуры в диапазоне от +5 до +35°C, предложено выполнять цифровую компенсацию температурного дрейфа выходных напряжений ИК и КК. Для ее реализации использованы характеристики преобразования по температуре выходных напряжений ИК и КК (см. рис. 3), которые аппроксимированы уравнением (5). Измерение температуры проводилось мультиметром цифровым универсальным UT71C с автоматической записью информации в персональный компьютер через USB-порт. Период опроса датчика температуры составлял 0,5 с.

По результатам измерений температуры  $T$  из массива выбираются значения выходных напряжений ИК ( $U_{кор\ ИК}(T)$ ) и КК ( $U_{кор\ КК}(T)$ ), которые вычитаются из результатов измерений выходных напряжений  $U_{ВЫХ\ ИК}$  и  $U_{ВЫХ\ КК}$ , по следующей формуле:

$$\Delta U_{ВЫХ} = U_{ВЫХ} - U_{кор}(T), \quad (6)$$

где  $U_{ВЫХ}$  – выходное напряжение  $ИК$  и  $КК$  после аналоговой компенсации температурного дрейфа;

$\Delta U_{ВЫХ}$  – результирующее напряжение  $ИК$  и  $КК$ , с учетом цифровой компенсации температурного дрейфа, по значениям данных напряжений определяют измеряемую концентрацию метана;

$U_{кор}(T)$  – напряжение коррекции, величина которого зависит от температуры (см. рис. 3).

Массивы выходных напряжений и температур предварительного занесены в память контроллера.

Характеристики преобразования выходных напряжений  $ИК$  и  $КК$  измерителя после цифровой компенсации температурного дрейфа в диапазоне температур от  $+15$  до  $+35^{\circ}\text{C}$  приведены на рисунке 4.

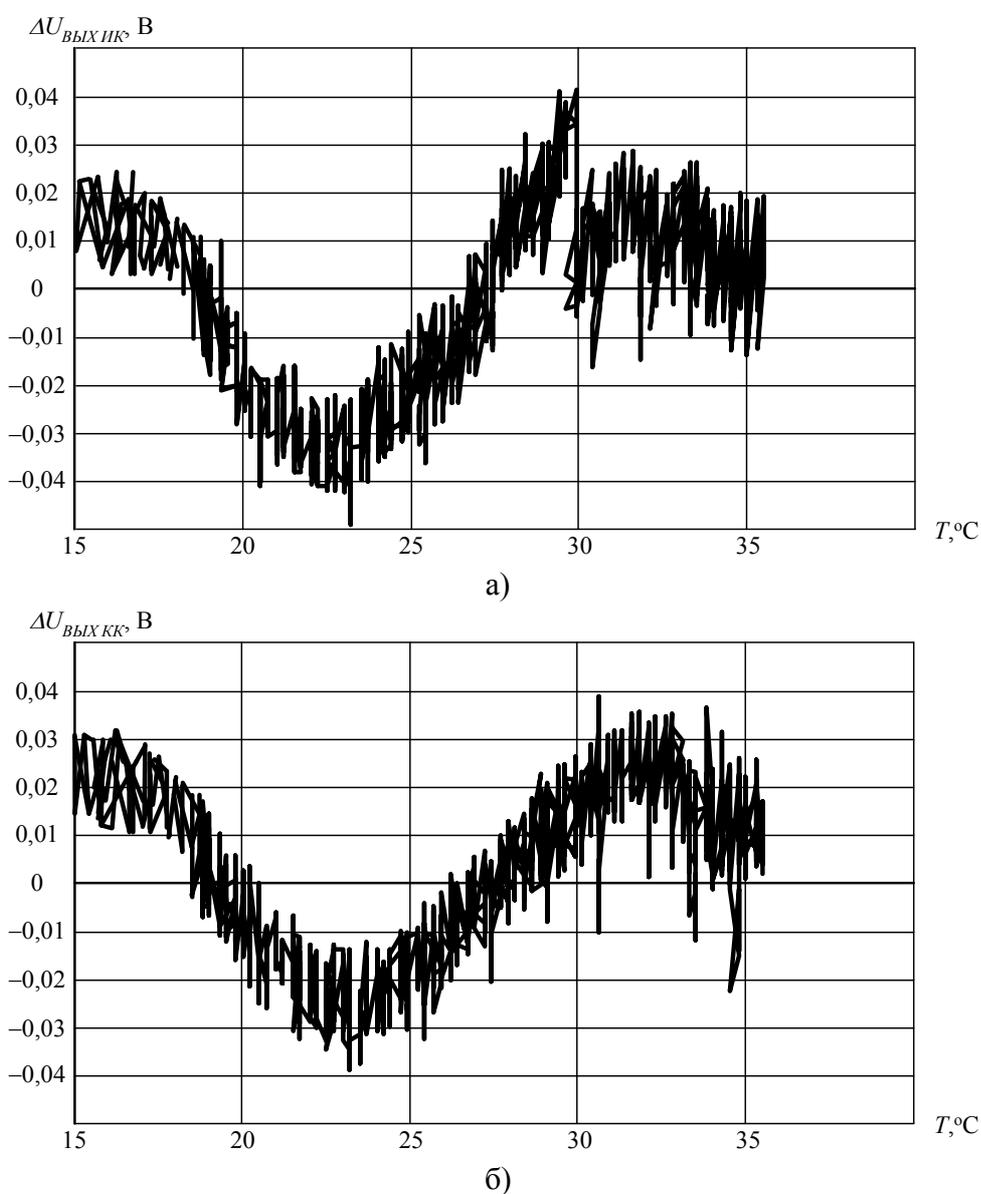


Рисунок 4 – Характеристики преобразования выходных напряжений  $ИК$  (а) и  $КК$  (б) измерителя после цифровой компенсации температурного дрейфа в диапазоне температур от  $+15$  до  $+35^{\circ}\text{C}$

Для компенсации запыленности оптических каналов измерителя выполняют вычитание из результатов измерения выходных напряжений  $ИК$  и  $КК$  в соответствии с формулой [8, 9]:

$$\Delta U_{ВЫХ\ пыль} = \Delta U_{ВЫХ\ ИК} - K \cdot (\Delta U_{ВЫХ\ КК} - U_{СМ}), \quad (7)$$

где  $K$  – масштабный коэффициент, величина которого равна 1;

$U_{СМ}$  – напряжение смещения, величина которого в проведенных опытах составляет 0 В.

График изменения результирующего выходного напряжения при компенсации запыленности оптических каналов измерителя концентрации метана приведен на рисунке 5.

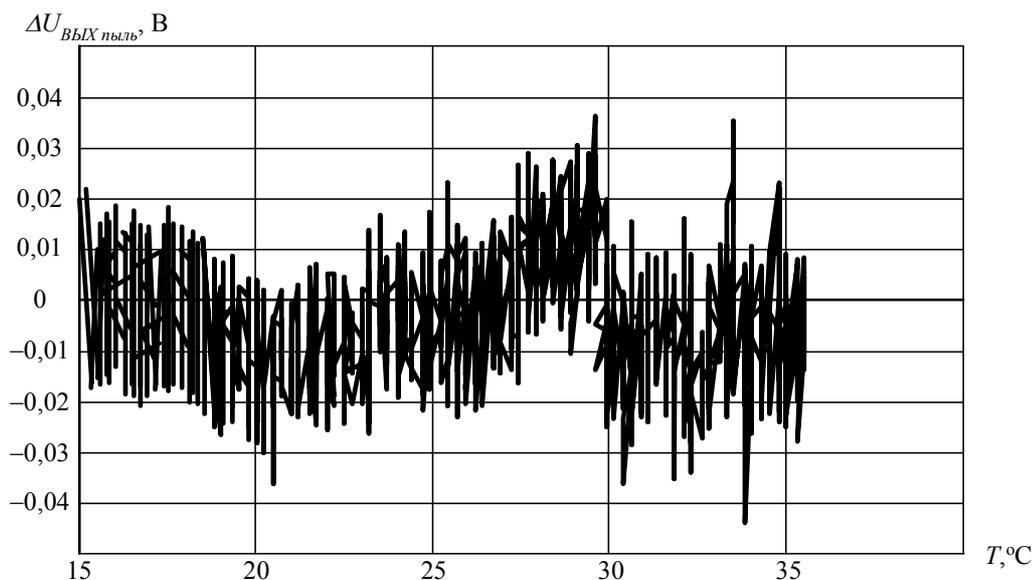


Рисунок 5 – График изменения результирующего выходного напряжения при компенсации запыленности оптических каналов измерителя концентрации метана

Для определения дополнительной погрешности обусловленной влиянием изменения температуры выполнено приведение напряжения  $\Delta U_{ВЫХ\ пыль}$ , при  $C_{CH_4} = const = 0^{об.}\%$ , к концентрации метана по следующей формуле:

$$C_{CH_4} = -\frac{1}{k_{ИК}} \cdot \ln \left( 1 - \frac{\Delta U_{ВЫХ\ пыль}}{U_{ИК0}} \right), \quad (8)$$

где  $k_{ИК} = 0,51 \left( \text{об.}\% \right)^{-1}$ ;  $U_{ИК0} = 0,49$  В – коэффициенты аппроксимации экспериментально определенной характеристики преобразования измерителя по метану.

Значение напряжения  $\Delta U_{ВЫХ\ пыль}$ , приведенное к концентрации метана  $C_{CH_4}$ , соответствует значению дополнительной погрешности измерения концентрации метана  $\Delta C_{CH_4}$  от изменения температуры. Данные исследования проводились в диапазоне температур от +15 до +35°C. График изменения дополнительной погрешности измерения концентрации метана, обусловленной изменением температуры в диапазоне от +15 до +35°C приведен на рисунке 6.

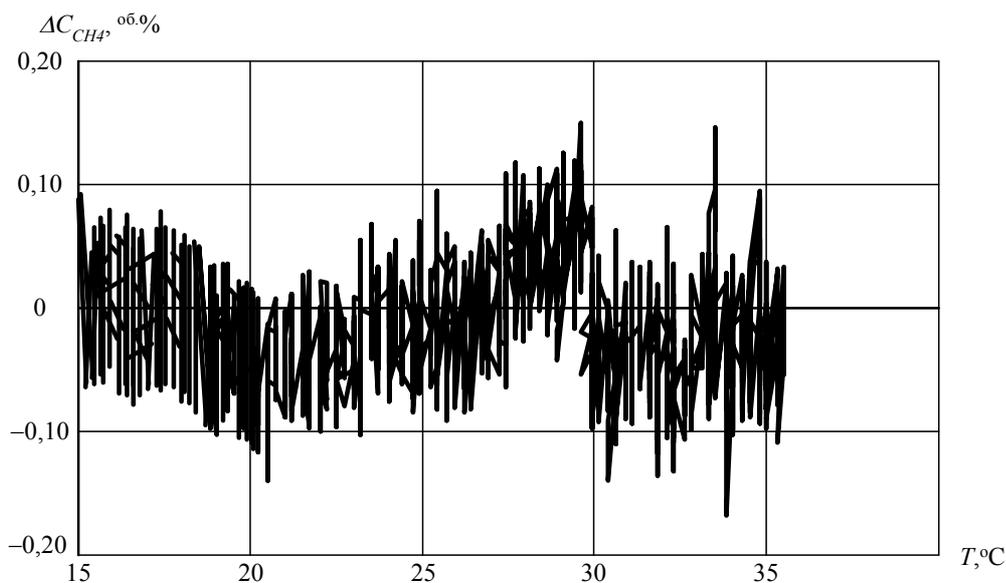


Рисунок 6 – График изменения дополнительной погрешности измерения концентрации метана, обусловленной изменением температуры в диапазоне от +15 до +35°C

Из анализа графика зависимости изменения дополнительной погрешности измерения концентрации метана, обусловленной изменением температуры в диапазоне от +15 до +35°C (см. рис. 6), следует:

– в рабочем диапазоне температур измерителя концентрации метана (25±5)°C амплитудное значение шумовой составляющей выходного сигнала изменения концентрации метана не превышает ±0,08<sup>об.%</sup>, что с доверительной вероятностью  $P = 0,95$  соответствует среднему квадратичному значению  $\Delta C_{CH_4 \text{ осн.}} = \pm 0,08 / 2 = \pm 0,04$ <sup>об.%</sup>, которое в 5 раз меньше абсолютного значения основной погрешности измерения концентрации метана (не более ±0,2<sup>об.%</sup>) [10];

– при расширении диапазона температур от +15 до +35°C амплитудное значение шумовой составляющей выходного сигнала измерения концентрации не превышает ±0,17<sup>об.%</sup>, что с доверительной вероятностью  $P = 0,95$  соответствует среднему квадратичному значению  $\Delta C_{CH_4 \text{ доп.}} = \pm 0,17 / 2 = \pm 0,085$ <sup>об.%</sup>, которое в 4,5 раза меньше указанного значения в техническом задании на разработку измерителя (не более 0,4<sup>об.%</sup>). Данное значение дополнительной погрешности измерения, обусловленной изменением дестабилизирующих факторов, не превышает удвоенного значения основной погрешности измерения [10].

#### Выводы

1. Разработан и реализован экспериментальный образец оптического измерителя концентрации метана, который включает в себя:

– измерительный и компенсационный оптические каналы, для реализации алгоритма компенсации запыленности рудничной атмосферы угольных шахт;

– аналоговые измерительные каналы, которые имеет в своем составе: драйвер для светодиода; синхронный детектор; нормирующий усилитель с аналоговой компенсацией температурного дрейфа светодиодов Lms34LED и Lms38LED;

– четырехканальный 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь с записью данных в персональный компьютер через USB порт (Arduino DUE).

2. Предложен способ аппаратно-программной компенсации температурного дрейфа

оптического измерителя, в котором использован для аппаратной компенсации в качестве температурно-чувствительного элемента светодиод, падение напряжения на котором пропорционально изменению температуры, а для программной компенсации – датчик температуры. Для реализации программной компенсации использованы характеристики преобразования по температуре выходных напряжений измерительных каналов экспериментального образца.

3. Аппаратно-программная реализация разработанного способа позволила повысить его точность: величина дополнительной погрешности измерения концентрации метана обусловленной изменением температуры составила не более  $\pm 0,09$  об.%, что в 4,5 раза меньше требуемого значения по техническому заданию на разработку измерителя (не более  $\pm 0,4$  об.%). При этом, в диапазоне измерения концентрации метана от 0 до 4 об.% основная абсолютной погрешностью не должна превышать  $\pm 0,2$  об.%, а дополнительная погрешность – удвоенного значения основной погрешности измерения.

### Список использованной литературы

1. Вовна А.В. Разработка и исследование измерителя концентрации метана с аппаратной компенсацией температуры / А.В. Вовна, А.А. Зори, И.Я. Лизан // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – 2013. – Випуск 1(24) 2013. – С. 222 – 229.
2. Вовна О.В. Розробка методу компенсації вугільного пилу для інфрачервоного вимірювача концентрації метану / О.В. Вовна // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – 2010. – Випуск 19 (171). – С. 41 – 47.
3. Молоковский И.А. Аппаратно-программный комплекс для центра технического обслуживания сети специального назначения / И.А. Молоковский, В.В. Турупалов // Наукові праці Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – 2013. – Випуск 33. – С. 119 – 125.
4. Спосіб вимірювання концентрації газів: Пат. 82534 U. Україна, МПК G 01 N 21/35 / О.В. Вовна, А.А. Зорі, В.Д. Коренєв, М.Г. Хламов; Державний вищий навчальний заклад «Донецькій національний технічний університет» (Україна). – № u201304754; заявл. 15.04.2013; опубл. 12.08.2013, Бюл. № 15.
5. Пристрій для вимірювання концентрації газів: Пат. 84219 U. Україна, МПК G 01 N 21/00 / О.В. Вовна, А.А. Зорі, В.Д. Коренєв, М.Г. Хламов; Державний вищий навчальний заклад «Донецькій національний технічний університет» (Україна). – № u201305529; заявл. 29.04.2013; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 19.
6. Шуберт Ф. Светодиоды / Ф. Шуберт; пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
7. LED Microsensor NT [Электронный ресурс] / Mid-infrared LED-PD optopairs. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://ru.lmsnt.com>. – Дата доступа: февраль 2014. – Загл. с экрана.
8. Okajima, H. Measurement of methane gas concentration using an infrared LED / H. Okajima, S. Kakuma, K. Uchida, Y. Wakimoto, K. Noda // International Joint Conference Digital Object Identifier: 10.1109/SICE.2006.315585. – 2006. – PP. 1652 – 1655.
9. Спосіб вимірювання концентрації метану в рудниковій атмосфері: Пат. 91795 С2. Україна, МПК G 01 N 21/35 / О.В. Вовна, А.А. Зорі, В.Д. Коренєв, М.Г. Хламов; Державний вищий навчальний заклад «Донецькій національний технічний університет» (Україна). – № a200906379; заявл. 19.06.2009; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 8.
10. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания: ДСТУ ГОСТ 24032:2009. – [Действующий от 2009-02-01]. – К.: Держспоживстандарт, 2009. – 24 с.

### References

1. Vovna, A.V, Zori, A.A. and Lizan, I.Ya. (2013), "Development and research of the methane concentration meter with hardware temperature compensation", *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu. Serija: «Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija»*, vol. 1, no. 24, pp. 222-229.
2. Vovna, A.V (2010), "Developing of the method of compensation of coal dust for the infra-red meter of methane concentration", *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu. Serija: «Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija»*, vol. 19, no. 171, pp. 41-47.
3. Molokovskij, I.A. and Turupalov, V.V. (2013), "Hardware-software system for network maintenance center of special purposes", *Naukovi praci Donec'kogo institutu zalizničnogo transportu Ukraïns'koï derzhavnoï akademii zalizničnogo transportu*, vol. 33, pp. 119-125.
4. Vovna, O.V., Zori, A.A., Korenev, V.D. and Khlamov, M.G. State Institute of Higher Education "Donetsk National Technical University" under Ministry of Education and Science of Ukraine (2013), *Sposib vymirjuvannja koncentracii' gaziv* [Method for measurement of the gases concentration], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 82534.
5. Vovna, O.V., Zori, A.A., Korenev, V.D. and Khlamov, M.G. State Institute of Higher Education "Donetsk National Technical University" under Ministry of Education and Science of Ukraine (2013), *Prystrij dlja vymirjuvannja koncentracii' gaziv posib vymirjuvannja koncentracii' gaziv* [Device for measurement of the gases concentration], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 84219.
6. Shubert, F. (2008), *Svetodiody* [The LEDs], Translated by Junovich A., FIZMATLIT, Moscow, Russia.
7. LED Microsensor NT (2014) Electronic Resources: finding resources by subject [Online], Retrieved from: <http://ru.lmsnt.com> (Accessed 10 February 2014).
8. Okajima, H., Kakuma, S., Uchida, K., Wakimoto, Y. and Noda, K. (2006) "Measurement of methane gas concentration using an infrared LED", International Joint Conference Digital Object Identifier: 10.1109/SICE.2006.315585. – 2006. – pp. 1652 – 1655.
9. Vovna, O.V., Zori, A.A., Korenev, V.D. and Khlamov, M.G. State Institute of Higher Education "Donetsk National Technical University" under Ministry of Education and Science of Ukraine (2010), *Sposib vymirjuvannja koncentracii' gaziv* [Method for measurement of the gases concentration], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 91795.
10. Ukraine Ministry of Coal Industry (2009), 24032:2009. *Pribory shahtnye gazoanaliticheskie. Obshhie trebovanija, metody ispytanija* [24032:2009 Mine gas analysis instruments. General requirements, test methods.], Ukraine Ministry of Coal Industry, Kiev, Ukraine.

Надійшла до редакції:  
03.03.2014

Рецензент:  
д-р техн. наук, проф. Воронцов О.Г.

**О.В. Вовна, А.А. Зорі**

**ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»**

**Оптичний вимірювач концентрації метану з апаратно-програмною компенсацією температурного дрейфу.** Розроблений та реалізований експериментальний зразок оптичного вимірювача концентрації метану. Запропонований спосіб апаратно-програмної компенсації температурного дрейфу оптичного вимірювача, в якому використаний для апаратної компенсації в якості температурно-чутливий елементу світлодіод, а для програмної – датчик температури. Апаратно-програмна реалізація розробленого способу дозволила підвищити його точність: величина додаткової похибки вимірювання концентрації метану, яку обумовлено зміною температури складала не більш  $\pm 0,09$  об.%, що в 4,5 рази менше необхідного значення за технічним завданням на розробку вимірювача (не

більш  $\pm 0,4^{об.}\%$ ). При цьому, в діапазоні вимірювання концентрації метану від 0 до  $4^{об.}\%$  основна абсолютна похибка не повинна перевищувати  $\pm 0,2^{об.}\%$ , а додаткова похибка – подвоєного значення основної похибки вимірювання.

**Ключові слова:** вимірювач, метан, спосіб, компенсація, температура, похибка.

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

*Donetsk National Technical University*

**Optical measuring of methane concentration with hardware and software compensation for temperature drift.** In the conditions of coal mines and in the presence of an aggressive environment, a large number of destabilizing factors affecting the result of measurements (temperature, dust, humidity, etc.) do not allow creating a fast gas analysis meter with necessary accuracy and performance. This problem can be solved using the latest systems of optical control of methane concentration in underground workings of coal mines, based on modern information and measurement technology. Consequently, the development and implementation of optical measuring instruments for monitoring the concentration of gas components in real-time is an important issue. We designed and implemented an experimental model of optical methane concentration meter. The sample consists of measuring and compensating optical channels used to implement a compensation algorithm for dusty coal mine atmosphere. The sample also includes analog measurement channels, which have: driver for LEDs; synchronous detector; normalizing amplifier with analog temperature drift compensation LEDs. Measuring information arrives on a 4-channel 12-bit analog-to-digital converter with recording data to a PC via USB port (Arduino DUE). The paper provides a method for hardware and software compensation for temperature drift of the optical measuring instrument, which is used for hardware compensation as the temperature-sensitive element LED, the voltage drop on which is proportional to the temperature change. To implement the program of compensation we used conversion temperature characteristics of experimental sample output voltage measuring channels. Hardware and software implementation of the developed method has allowed increasing its accuracy, the additional error of methane concentration measurement caused by changes in temperature was not more than  $\pm 0.09^{vol.}\%$ , which is 4.5 times less than the required value for the development of technical specifications for the meter (less than  $\pm 0.4^{vol.}\%$ ). At the same time, in the range of measurement of methane concentration from 0 to  $4^{vol.}\%$  basic absolute error should not exceed  $\pm 0.2^{vol.}\%$ , and an additional error – twice the basic error of measurement.

**Keywords:** measurer, methane, method, compensation, temperature, accuracy.



**Вовна Александр Владимирович**, Украина, закончил Донецкий национальный технический университет, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электронной техники. ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – разработка, моделирование и исследование компьютеризированных информационно-измерительных систем аэрогазового контроля.