

АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ СПОСІБ КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДРЕЙФА ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ОПТИЧНОГО ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ

О.В. Вовна*, докт.техн.наук, **А.А. Зорі**, докт.техн.наук, **І.С. Лактіонов**, канд.техн.наук
Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»,
пл. Шибанкова, 2, Покровськ, Донецька область, 85300, Україна,
e-mail: yovna_alex@ukr.net

Досліджено процеси у розробленому оптичному вимірювачі концентрації метану. Виявлено, що додаткова похибка вимірювання концентрації метану, обумовлена зміною температури від +5 до +35°C, у $(64 \div 142)$ рази перевищує регламентовану основну похибку, яка становить $\pm 0,2^{06}\%$. Розроблено та реалізовано апаратно-програмний спосіб компенсації температурного дрейфа вихідного сигналу вимірювача концентрації метану. Як термочутливий елемент у вимірювачі використано світлодіод вимірювального каналу, а як інформаційний сигнал – падіння напруги на ньому. Реалізація запропонованого апаратно-програмного способу дозволила досягти величини додаткової похибки вимірювання концентрації метану від зміни температури не більше основної. Бібл. 10, рис. 3.

Ключові слова: оптичний вимірювач, концентрація, метан, температура, компенсація.

Актуальність проведення досліджень. Під час проведення теоретичних і експериментальних досліджень [1, 2, 10] встановлено, що підвищення ефективності промислових систем аерогазового захисту (АГЗ) шахт можливо тільки за умови комплексної оцінки впливів вимірювальних параметрів і дестабілізуючих факторів рудничної атмосфери на процеси вибуховості пилогазової суміші [8]. Проте сьогодні досі немає систем АГЗ шахт, які при ідентифікації виникнення вибухонебезпечних ситуацій використовують максимальну кількість інформаційних параметрів. Це свідчить про актуальність розробки інформаційно-вимірювальної системи для умов рудничної атмосфери шахт.

Постановка завдань дослідження. Метою роботи є зменшення величини додаткової похибки вимірювання концентрації метану від зміни температури у необхідному діапазоні від +5 до +35 °C шляхом розробки апаратно-програмного способу компенсації температурного дрейфа вихідного сигналу вимірювача, що дозволить своєчасно ідентифікувати залпові викиди метану у вугільних шахтах. Для досягнення мети поставлено та вирішено такі завдання:

- розробити і реалізувати апаратно-програмний спосіб компенсації температурного дрейфа вихідного сигналу оптоелектронної інформаційно-вимірювальної системи концентрації метану;
- оцінити ефективність запропонованого способу і розробити апаратно-програмну реалізацію цього способу компенсації у дослідному зразку вимірювача.

Результати розробки та досліджень. Вимірювання концентрації метану в рудничній атмосфері шахт пропонується здійснювати з використанням наступної інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), яка входить до складу комплексу АГЗ шахт на правах підсистеми (рис. 1). Для інформа-

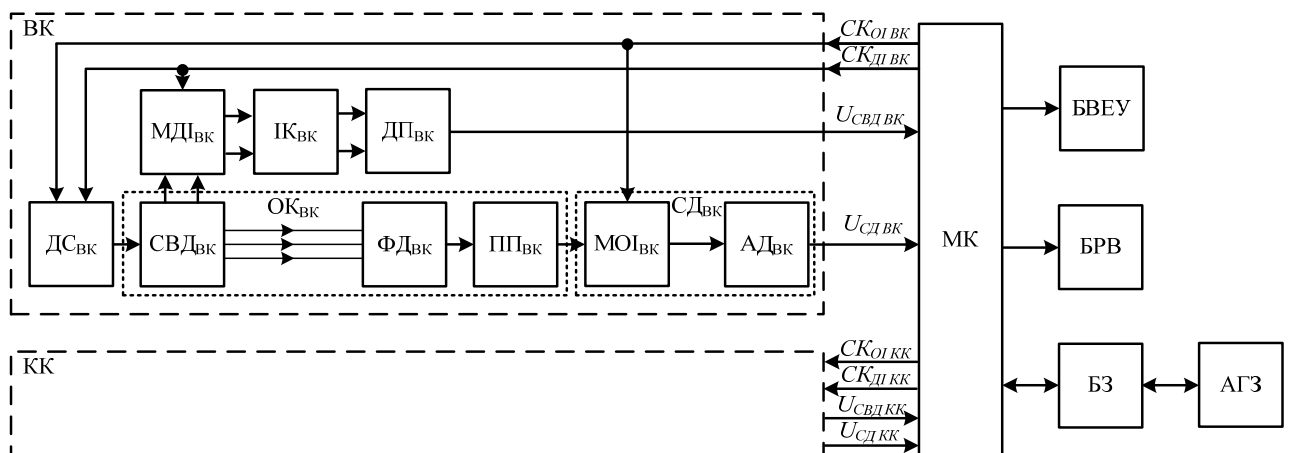


Рис. 1

ційного забезпечення АГЗ шахт передбачено прийом і передачу інформаційних і діагностичних повідомлень від розробленої ІВС через блок зв'язку (БЗ) до системи АГЗ. Основою апаратно-програмної частини ІВС концентрації метану (C_{CH_4}) є мікроконтролер (МК), який виконує функції керування роботою системи, здійснення розрахунків за результатами вимірювання, обробки отриманої вимірювальної інформації, індикації та передачі інформації до системи АГЗ. Для відображення та реєстрації вимірювальної інформації щодо зміни концентрації метану використовується блок реєстрації й відображення (БРВ). Видача сигналів на відключення живлення від електрообладнання в шахтах під час залпового викиду метану здійснюється блоком відключення електроустаткування (БВЕУ).

Для компенсації впливу запилення (C_C) рудничної атмосфери використано диференційну схему, яка складається із вимірювального (ВК) та компенсаційного (КК) каналів. Вихідний сигнал ВК містить інформацію щодо зміни C_{CH_4} та C_C , тому як джерело випромінювання ВК обрано світловопромінюючий діод (СВД) типу lms34LED [5] з довжиною хвилі 3,4 мкм, що відповідає максимальній інтенсивності спектральних ліній поглинання метану. Для реалізації способу компенсації впливу C_C запропоновано, щоб вихідний сигнал КК містив інформацію тільки щодо зміни C_C , а інтенсивність поглинання метаном випромінювання практично дорівнювала нулю. У роботі [4] використовується діапазон довжин хвиль для КК від 3,5 до 4,0 мкм, у якому оптична потужність СВД [7] практично дорівнює потужності lms34LED ВК. Під час реалізації розробленої ІВС до складу КК введено СВД типу lms38LED [7]. Для отримання максимального коефіцієнта спектральної узгодженості СВД та фотодіодів (ФД) запропоновано використовувати у ВК ФД типу lms36PD, а у КК – lms43PD [6]. ВК та КК мають у своєму складі попередні підсилювачі (ПП) вихідних імпульсних сигналів струму, що надходять від ФД. Компенсація впливу C_C у МК виконується відніманням вихідних напруг ВК (ΔU_{VK}) та КК (ΔU_{KK}). У МК розраховується C_{CH_4} за отриманими результатами $\Delta U = \Delta U_{VK} - \Delta U_{KK}$.

Живлення СВД ВК і КК здійснюється від джерел струму (ДС), які за сигналами керування (СК) від МК формують основну (СК_{ОІ}) та додаткову (СК_{ДІ}) імпульсні послідовності. Для підвищення вихідної потужності СВД їхнє живлення виконується від основних імпульсів струму, амплітуда яких становить 1000 мА при періоді 2000 мкс з тривалістю імпульсів $t_i=20$ мкс (рис. 2, а). Оптичні сигнали від СВД ВК і КК проходять крізь оптичні канали (ОК) ІВС та фокусуються на ФД. ФД ВК і КК перетворюють оптичні потоки, які мають у своєму складі інформацію щодо зміни концентрації вимірювальних пілогазових компонент, до електричних імпульсних сигналів струму. Вихідні сигнали струмів від ФД перетворюються та підсилюються до сигналів напруги за допомогою ПП. Вихідні сигнали ПП ВК і КК складаються з основної та додаткової імпульсних послідовностей (рис. 2, а). Ці сигнали надходять до синхронних детекторів (СД), до складу яких входять мультиплексори основних імпульсів (МОІ) та амплітудні детектори (АД). Тільки під час дії сигналів СК_{ОІ} МОІ комутує вихід ПП із входом АД, що дозволяє сформувати на вході АД та виконувати обробку лише основної імпульсної послідовності, а додаткова імпульсна послідовність на вході АД відсутня (рис. 2, б).

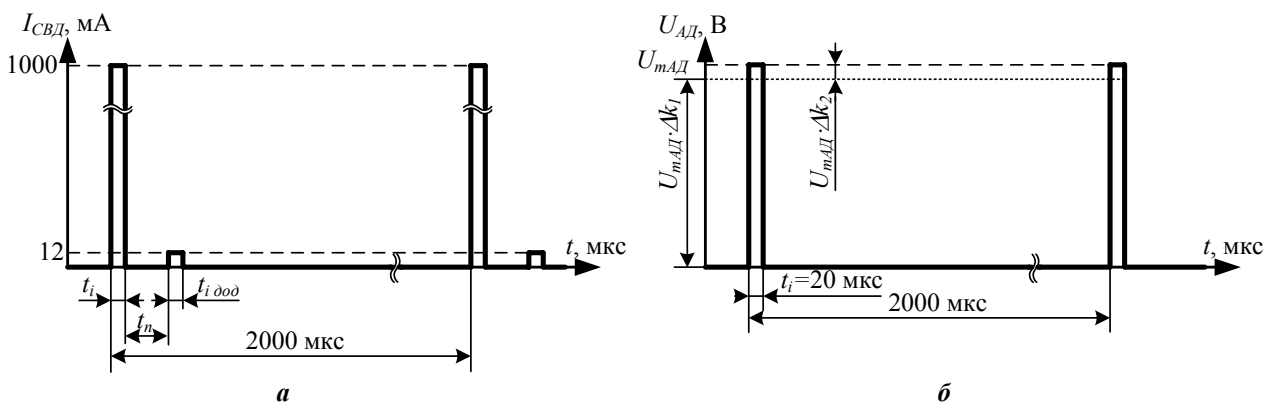


Рис. 2

Додаткова імпульсна послідовність необхідна для реалізації апаратно-програмного способу компенсації температурного дрейфа оптичного потоку СВД. В основу запропонованого способу компенсації покладена така ідея [2, 3]: використовувати як термочутливий елемент вимірювача СВД, а як інформаційний сигнал – падіння напруги на ньому, яке практично лінійно залежить від температури [9]. Вимірювання падіння напруги на кожному з СВД здійснюється під час подачі додаткових імпульс-

сів струму. Основна імпульсна послідовність не використовується через те, що під час дії імпульсу струму амплітудою 1000 мА кристал СВД саморозігрівається до допустимої температури [7], а під час паузи він охолоджується до температури навколишнього середовища, що є причиною температурного дрейфа потоку оптичного випромінювання від СВД. Мінімальне саморозігрівання кристала СВД досягається використанням отриманої експериментально [4] додаткової імпульсної послідовності амплітудою 12 мА тривалістю $t_{i\text{доо}}=20$ мкс при періоді 2000 мкс.

Основну та додаткову імпульсні послідовності синхронізовано та рознесено у часі (рис. 2, а). Тривалість паузи $t_n=60,4$ мкс між імпульсними послідовностями отримано експериментально [4]. АД завдяки МОІ за сигналами CK_{OI} отримує з вихідного сигналу ПП лише основну імпульсну послідовність (рис. 2, б). Під час дії сигналів CK_{DI} мультиплексор додаткових імпульсів (МДІ) підключає вихідний сигнал падіння напруги на СВД до входів інтегруючих кіл (ІК), які встановлено на кожному з входів диференційного підсилювача (ДП), що дозволяє обробляти сигнал падіння напруги на СВД тільки під час дії додаткової імпульсної послідовності. Вихідна напруга ДП ($U_{СВД}$), величина якої пропорційна зміні температури СВД, подається до МК для реалізації способу компенсації температурного дрейфа вихідного сигналу вимірювача концентрації метану.

Під час проведення досліджень з використанням термостату отримано характеристики перетворення падінь напруг на СВД lms34LED і lms38LED від зміни T від $+5$ до $+35^\circ\text{C}$. Температурні характеристики падінь напруги СВД типів lms34LED і lms38LED апроксимовані рівнянням виду

$$U_{СВД}(T) = U_{0СВД} + k_{СВД} \cdot (T - T_0), \quad (1)$$

де $U_{0СВД34}=3,20$ В; $k_{СВД34} = -0,036$ В/ $^\circ\text{C}$ – коефіцієнти апроксимації для СВД типу lms34LED; $U_{0СВД38}=2,00$ В; $k_{СВД38} = -0,034$ В/ $^\circ\text{C}$ – для СВД типу lms38LED; T – температура в діапазоні від $+5$ до $+35^\circ\text{C}$; $T_0=20^\circ\text{C}$.

Для визначення величини інформативної та неінформативної складової вихідного сигналу вимірювача проведені експериментальні дослідження, під час яких отримано його характеристики перетворення від зміни C_{CH4} у діапазоні від 0 до $5^{06}\%$. Характеристика перетворення вимірювача U_{CD} від зміни C_{CH4} апроксимована функціональною залежністю (рис. 3), загальний вигляд якої отримано із застосуванням закону Бугера-Ламберта-Бера [5]

$$U_{CD}(C_{CH4}) = U_{AD}(C_{CH4}) = U_{mCD} \cdot \left(\Delta k_1 + \Delta k_2 \cdot \left(1 - e^{-k_{CH4} \cdot C_{CH4}} \right) \right), \quad (2)$$

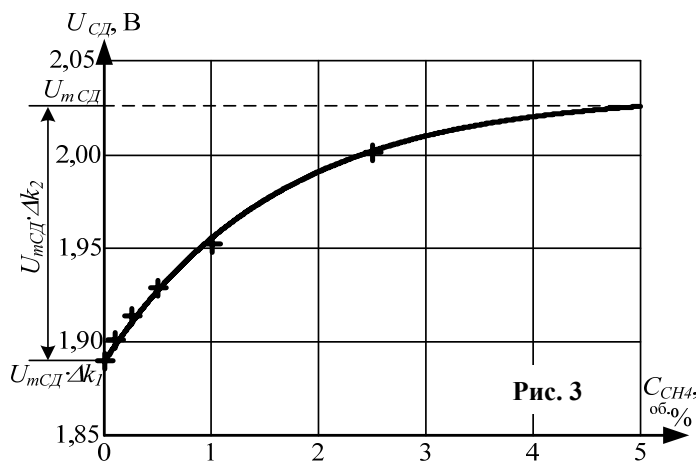


Рис. 3

де Δk_1 та Δk_2 – коефіцієнти, що описують інформативну та неінформативну складові вихідного сигналу ВК, значення яких для розробленого вимірювача складають 0,93 і 0,07 відповідно (рис. 2, б); Δk_{CH4} – коефіцієнт чутливості вихідного сигналу до зміни C_{CH4} ($1^{06}\%$); $U_{mCD}=U_{mAD}$ – максимальне значення вихідного сигналу СД, що відповідає максимальному значенню C_{CH4} в ОК вимірювача.

На основі теоретичних моделей [4] та експериментальних досліджень [2, 3] встановлено, що основний внесок до температурної нестабільності вихідного сигналу розробленого вимірювача C_{CH4}

має температурний дрейф потоку оптичного випромінювання СВД. Визначено залежність вихідного сигналу СД від C_{CH4} і T , яка описана функцією

$$U_{CD}(C_{CH4}, T) = \left(U_{mCD} + k_{u1} \cdot (T - T_0) + k_{u2} \cdot (T - T_0)^2 \right) \cdot \left(\Delta k_1 + \Delta k_2 \cdot \left(1 - e^{-k_{CH4} \cdot C_{CH4}} \right) \right), \quad (3)$$

де $k_{u1}=0,040$ В/ $^\circ\text{C}$ і $k_{u2}=0,001$ В/ $^\circ\text{C}^2$ – коефіцієнти чутливості вихідної напруги СД від зміни T , значення яких визначено під час проведення градування вимірювача з використанням термостату.

Виконано оцінки чутливості вихідного сигналу СД від: зміни C_{CH4} (S_{CH4}) у діапазоні від 0 до $5^{06}\%$, значення якої становить $0,027$ В/ $^{06}\%$; зміни T (S_T) у діапазоні від $+5$ до $+35^\circ\text{C}$ або $(20 \pm 15)^\circ\text{C}$ складає $(0,023 - 0,051)$ В/ $^\circ\text{C}$. Величина додаткової абсолютної похибки вимірювання C_{CH4} від зміни T

у діапазоні $(20 \pm 15)^\circ\text{C}$ складає

$$\Delta C_{CH_4}^{\Delta T} = \frac{S_T}{S_{CH_4}} \cdot \Delta T = \pm \frac{(0,023 \div 0,051)}{0,027} \cdot 15 = \pm(12,8 \div 28,3)^{\text{об.}\%}.$$

Отриманий результат у $(64 \div 142)$ рази перевищує регламентовану величину основної похибки вимірювання C_{CH_4} (не більше $\pm 0,2^{\text{об.}\%}$) [8]. У розробленому способі компенсації температурного дрейфа вихідного сигналу вимірювача C_{CH_4} компенсація здійснюється завдяки усуненню постійної неінформативної складової $U_{CD}(C_{CH_4}, T)$, що описана залежністю (3) при $C_{CH_4}=0^{\text{об.}\%}$, яка є джерелом температурного дрейфа вихідного сигналу вимірювача. Усунення постійної неінформативної складової здійснюється завдяки відношенню вимірюваного вихідного сигналу $U_{CD}(C_{CH_4}, T)$ до значення функції (3) при $C_{CH_4}=0^{\text{об.}\%}$, яке залежить тільки від температури, та реалізовано функціональною залежністю $\Delta K(C_{CH_4})$, що є інваріантною до зміни температури,

$$\begin{aligned} \Delta K(C_{CH_4}) &= \frac{U_{CD}(C_{CH_4}, T)}{U_{CD}(C_{CH_4}=0^{\text{об.}\%}, T)} - 1 = \\ &= \frac{(U_{mCD} + k_{u1} \cdot (T - T_0) + k_{u2} \cdot (T - T_0)^2) \cdot (\Delta k_1 + \Delta k_2 \cdot (1 - e^{-k_{CH_4} \cdot C_{CH_4}}))}{(U_{mCD} + k_{u1} \cdot (T - T_0) + k_{u2} \cdot (T - T_0)^2) \cdot (\Delta k_1 + \Delta k_2 \cdot (1 - e^{-k_{CH_4} \cdot 0})} - 1 = \quad (4) \\ &= \frac{\Delta k_1 + \Delta k_2 \cdot (1 - e^{-k_{CH_4} \cdot C_{CH_4}})}{\Delta k_1} - 1 = \frac{\Delta k_2}{\Delta k_1} \cdot (1 - e^{-k_{CH_4} \cdot C_{CH_4}}). \end{aligned}$$

Для реалізації запропонованого способу компенсації, який представлено функцією $\Delta K(C_{CH_4})$, необхідно здійснити введення до складу вимірювача додаткового вимірювального каналу температури СВД. Заздалегідь виконується масштабування і визначення коефіцієнтів характеристики перетворення ВК температури. Вихідний сигнал ВК повинен відповідати закону зміни вихідного сигналу СД при $C_{CH_4} = 0^{\text{об.}\%}$. Цей спосіб простий у реалізації, але досить складний під час налаштування вимірювача. Необхідно здійснювати градування як ВК концентрації метану, так і ВК температури СВД при її зміні, а також розраховувати коефіцієнти обох характеристик перетворення.

Запропонований у роботах [2, 3] спосіб компенсації температурного дрейфа вихідного сигналу оптичного вимірювача C_{CH_4} мав істотний недолік: його апаратна реалізація забезпечувала величину додаткової похибки від зміни T не більше основної похибки вимірювання C_{CH_4} ($\pm 0,2^{\text{об.}\%}$) [6] тільки в обмеженому діапазоні температур від $+20$ до $+30^\circ\text{C}$. Це пояснюється тим, що як компенсаційний сигнал використовується падіння напруги на СВД, яке лінійно змінюється від температури (1), а температурний дрейф вихідної напруги вимірювача, обумовлений зміною оптичного потоку випромінювання СВД, має квадратичний характер [9]. Тому під час апаратної компенсації температурного дрейфа оптичного потоку випромінювання від зміни температури у необхідному діапазоні температур від $+5$ до $+35^\circ\text{C}$ [7] додаткова похибка від зміни цього дестабілізуючого фактора у 4 рази перевищувала основну похибку вимірювання концентрації метану.

Для зменшення впливу зміни T у діапазоні від $+5$ до $+35^\circ\text{C}$ запропоновано [4] додатково виконувати програмну компенсацію температурного дрейфа вихідних напруг ВК і КК. Під час її реалізації до ІВС введено датчик температури. За результатами вимірювання T вводиться корекція до отриманих значень C_{CH_4} . Реалізація відомого способу дозволила зменшити величину додаткової похибки від зміни T у діапазоні від $+5$ до $+35^\circ\text{C}$ до подвоєного значення від основної похибки вимірювання C_{CH_4} , що також не задовольняє вимогам до вимірювачів концентрації метану.

Основною причиною, яка заважає зменшенню величини додаткової похибки вимірювання C_{CH_4} від зміни T у відомому способі компенсації [2, 3] є те, що зміна компенсаційного сигналу від датчика температури та вихідних сигналів ВК і КК має різний тип функціональних залежностей. Приведення зміни за T цих сигналів до однакового вигляду є достатньо складною практичною задачею. Тому в розробленому апаратно-програмному способі компенсації температурного дрейфа вихідного сигналу вимірювача запропоновано вносити корекцію в результати вимірювання не за температурою, а за падінням напруги на СВД, значення якої пропорційно T . Характеристики перетворення за температурою – сигнали напруги на виході СД (3) і падіння напруги на СВД (1) – описуються рівняннями

$$\begin{cases} U_{CD}(T) = (U_{mCD} + k_{u1} \cdot (T - T_0) + k_{u2} \cdot (T - T_0)^2) \cdot \Delta k_1; \\ U_{CVD}(T) = U_{0CVD} + k_{CVD} \cdot (T - T_0). \end{cases} \quad (5)$$

Під час розв'язання системи рівнянь (5) отримано залежність зміни вихідного сигналу напруги СД від падіння напруги на СВД $U_{CD}(U_{CVD})$, які не мають функціонального зв'язка від зміни T ,

$$\begin{aligned} U_{CD}(U_{CVD}) &= \left(U_{mCD} + k_{u1} \cdot \frac{U_{CVD} - U_{0CVD}}{k_{CVD}} + k_{u2} \cdot \left(\frac{U_{CVD} - U_{0CVD}}{k_{CVD}} \right)^2 \right) \cdot \Delta k_1 = \\ &= \left(U_{mCD} \Delta k_1 - \frac{k_{u1} \Delta k_1}{k_{CVD}} U_{0CVD} + \frac{k_{u2} \Delta k_1}{k_{CVD}^2} U_{0CVD}^2 \right) + \\ &+ \left(\frac{k_{u1} \Delta k_1}{k_{CVD}} - 2U_{0CVD} \frac{k_{u2} \Delta k_1}{k_{CVD}^2} \right) U_{CVD} + \left(\frac{k_{u2} \Delta k_1}{k_{CVD}^2} \right) U_{CVD}^2 = \\ &= k_{0TCD} + k_{1TCD} U_{CVD} + k_{2TCD} U_{CVD}^2 = 12,5446 - 5,6259 U_{CVD} + 0,7176 U_{CVD}^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Під час проведення експериментальних досліджень розробленого вимірювача виконано градування за температурою в діапазоні її зміни від +5 до +35 °С. При цьому отримана залежність вихідного сигналу СД від зміни падіння напруги на СВД у вищезазначеному діапазоні температур апроксимована поліномом другого ступеня (6). Ця функціональна залежність використана для реалізації апаратно-програмної компенсації постійної неінформативної складової вихідного сигналу вимірювача.

Під час роботи вимірювача концентрації метану результати вимірювання напруг U_{CD} та U_{CVD} ВК і КК передаються до МК. У МК за результатами вимірювання падіння напруг на СВД U_{CVDVK} та U_{CVDKK} за заздалегідь отриманими поліномами $U_{CDVK}(U_{CVDVK})$ та $U_{CDKK}(U_{CVDKK})$ розраховується постійна неінформативна складова вихідних сигналів СД. Обчислена величина віднімається від результатів вимірювання вихідних напруг СД як ВК, так і КК. Таким чином, отримані результати вимірювання за обома каналами є інваріантними до зміни температури

$$\begin{aligned} \Delta U_{VK} &= U_{CDVK} - (k_{0TCDVK} + k_{1TCDVK} \cdot U_{CVDVK} + k_{2TCDVK} \cdot U_{CVDVK}^2), \\ \Delta U_{KK} &= U_{CDKK} - (k_{0TCDKK} + k_{1TCDKK} \cdot U_{CVDKK} + k_{2TCDKK} \cdot U_{CVDKK}^2). \end{aligned}$$

Потім у МК виконується компенсація запилення шляхом віднімання $\Delta U = \Delta U_{VK} - \Delta U_{KK}$, за отриманими результатами ΔU МК розраховує значення вимірювальної концентрації метану.

З аналізу результатів експериментальних досліджень розробленого дослідного зразка оптоелектронної інформаційно-вимірювальної системи концентрації метану, у якому реалізовано апаратно-програмний спосіб компенсації температурного дрейфа вихідного сигналу оптичного вимірювача, визначено, що у необхідному діапазоні зміни температури від +5 до +35 °С величина додаткової похибки вимірювання концентрації метану від зміни цього дестабілізуючого фактора не більш $\pm 0,09$ ⁰⁶%, що у 2,2 рази менше регламентованого [8] значення основної похибки ($\pm 0,2$ ⁰⁶%). На підставі отриманих результатів експериментальних досліджень апаратно-програмної реалізації способу компенсації температурного дрейфу вихідного сигналу оптичного вимірювача можна зробити висновок, що використання запропонованого способу практично повністю усуває вплив температури на характеристики вимірювача концентрації метану для умов рудничної атмосфери шахт.

Висновки.

1. Розроблено та досліджено апаратно-програмний спосіб компенсації температурного дрейфа вихідних сигналів оптоелектронної інформаційно-вимірювальної системи концентрації метану, який, на відміну від існуючих, використовує як температурно-чутливий елемент для апаратної компенсації світловипромінюючий діод вимірювального каналу, а для програмної компенсації – інформацію що-

до зміни напруги на світловипромінюючому діоді, що дозволило забезпечити необхідну величину додаткової похибки від зміни температури в діапазоні від +5 до +35°C, яка складає $\pm 0,09^{06}\%$ та у 2 рази менше від регламентованого значення основної абсолютної похибки.

2. Розроблено та створено дослідні зразки оптоелектронних інформаційно-вимірювальних систем концентрації метану і пилу в рудничній атмосфері гірничих виробок вугільних шахт з компенсацією таких дестабілізуючих домінуючих факторів: температури, концентрації пилу і запилення оптоелектронних компонент вимірювача. Проведено дослідження запропонованих інформаційно-вимірювальних системи та встановлено їхні метрологічні характеристики.

3. Отримали подальший розвиток підходи до створення і технічної реалізації нових високоточних швидкодіючих оптичних інформаційно-вимірювальних систем у складі комплексу забезпечення аерогазової безпеки вугільних шахт.

1. Айруни А.Т., Клебанов Ф.С., Смирнов О.В. Взрывоопасность угольных шахт. – Москва: Горное дело, 2011. – 264 с.
2. Вовна А.В., Зори А.А. Разработка и исследование радиоэлектронного оптического измерителя концентрации метана // 23-я Межд. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2013). – Севастополь, 2013. – С. 984 – 985.
3. Вовна А.В., Зори А.А. Способ компенсации температурного дрейфа оптического измерителя концентрации газа / Известия ЮФУ. Технические науки. Тем. выпуск «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении». – 2013. – № 5 (142). – С. 165 – 170.
4. Вовна О.В. Оптоелектронні вимірювальні системи концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері шахт. – Покровськ (Красноармійськ): ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – 336 с.
5. Инструкция по эксплуатации сенсорного модуля для измерения метана MDS-4. – ООО «ЛЕД Микросенсор НТ» – Режим доступа: http://lmsnt.com/datasheets/Electronics/MDS-4_ru-010416.pdf.
6. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания. ДСТУ ГОСТ 24032:2009. – К.: Держспоживстандарт, 2009. – 24 с.
7. Специф. СД 2700 – 5000 нм. – ООО «ЛЕД Микросенсор НТ» – Режим доступа: <http://ru.lmsnt.com/download/download-led3>.
8. Сенкус В.В., Стефанюк Б.М., Лукин К.Д. Коэффициент взрывобезопасности угольной шахты // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – Выпуск № 10. – С. 23 – 27.
9. Шуберт Ф. Светодиоды. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
10. Abbasi T., Abbasi S. Dust explosions – cases, causes, consequences, and control // Journal of Hazardous Materials. – 2007. – Vol. 140. – Iss. 1–2. – Pp 7 – 44.

УДК 543.42:621.384.3:622.412

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДРЕЙФА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА

А.В. Вовна, докт.техн.наук, **А.А. Зори**, докт.техн.наук, **И.С. Лактионов**, канд.техн.наук
Донецкий национальный технический университет,
пл. Шибанкова, 2, Покровск, Донецкая область, 85300, Украина,
e-mail: yovna_alex@ukr.net

Исследованы процессы в разработанном оптическом измерителе концентрации метана. Определено, что дополнительная погрешность измерения концентрации метана, обусловленная изменением температуры от +5 до +35°C, в (64 ÷ 142) раза превышает регламентированную основную погрешность, которая составляет $\pm 0,2^{06}\%$. Разработан и реализован аппаратно-программный способ компенсации температурного дрейфа выходного сигнала измерителя концентрации метана. Как термочувствительный элемент в измерителе использован светодиод измерительного канала, а как информационный сигнал – падение напряжения на нем. Реализация предложенного аппаратно-программного способа позволила достичь величины дополнительной погрешности измерения концентрации метана от изменения температуры не более основной. Библ. 10, рис. 3.

Ключевые слова: оптический измеритель, концентрация, метан, температура, компенсация.

HARDWARE AND SOFTWARE METHOD OF THE OUTPUT SIGNAL TEMPERATURE DRIFT COMPENSATING OF THE METHANE CONCENTRATION OPTICAL METER

O.V. Vovna, A.A. Zori, I.S. Laktionov
Donetsk National Technical University,
Shybankova Square, 2, Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine,
e-mail: vovna_alex@ukr.net

Processes in the developed optical methane concentration measurer are probed. It is determined that the additional error in measuring the methane concentration due to a change in temperature from + 5 to + 35°C, in (64 ÷ 142) times exceeds the regulated main error, which makes $\pm 0,2^{vol.}\%$. A hardware-software method of the output signal temperature drift compensating of the methane concentration meter has been developed and implemented. The LED of the measuring channel is used as a thermosensitive element in the measuring instrument, voltage drop on it is used as an information signal. Implementation of the proposed hardware-software method allowed to achieve the additional error magnitude of the methane concentration measuring from the temperature change, which doesn't exceed the basic one. References 10, figures 3.

Keywords: optical measuring instrument, concentration, methane, temperature, compensation.

1. *Ajruni A.T., Klebanov F.S., Smirnov O.V.* Potential explosions of coal mines. – Moskva: Gornoe delo, 2011. – 264 p. (Rus)
2. *Vovna A.V., Zori A.A.* Development and research of the radio-electronic optical methane concentration measuring instrument / 23 Intern. Conf. «SVCh-tehnika i telekommunikatsionnye tekhnologii» (KryMiKo'2013). – Sevastopol, 2013. – Pp. 984 – 985. (Rus)
3. *Vovna A.V., Zori A.A.* The temperature drift compensation method of the gas concentration optic meter // *Izvestiia SFedU. Tekhnicheskie nauki. Tematicheskii vypusk "Kompiuternye i Informatsionnye Tekhnologii v nauke, Inzhenerii i upravlenii.* – 2013. – No 5 (142). – Pp. 165 – 170. (Rus)
4. *Vovna O.V.* Optoelectronic measuring systems of methane and dust concentration in the underground air of coal mines. – Pokrovsk (Krasnoarmiisk): Donetskyi Vyshchyi Navchalnyi Zaklad «DonNTU», 2016. – 336 p. (Ukr)
5. The operating instruction for the methane measurement sensor module MDS-4. – LLC «LED Microsensor NT» – Available at: http://lmsnt.com/datasheets/Electronics/MDS-4_ru-010416.pdf. (Accessed 18.11.2016). (Rus)
6. The mine's gas-analytical instruments. General requirements, test methods. DSTU GOST 24032:2009. – Kyiv: Derzhspozhivstandart, 2009. – 24 p. (Rus)
7. Specification LED 2700 – 5000 nm. – LLC «LED Microsensor NT» – Available at: <http://ru.lmsnt.com/download/download-led3>. (Accessed 18.11.2016). (Rus)
8. *Senkus V.V., Stefanjuk B.M., Lukin K.D.* Explosion safety factor of the coal mine // *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten.* – 2008. – Vol. 10. – Pp. 23 – 27. (Rus)
9. *Shubert F.* Led emission diodes. – Moskva: FIZMATLIT, 2008. – 496 p. (Rus)
10. *Abbasi T., Abbasi S.* Dust explosions – cases, causes, consequences, and control // *Journal of hazardous materials.* – 2007. – Vol. 140. – Iss. 1–2. – Pp. 7 – 44.

Надійшла 20.12.2016
Остаточний варіант 16.05.2017