

УДК 543.42:621.384.3:622.412

О. В. ВОВНА, А. А. ЗОПІ, Р. Н. АХМЕДОВ**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОПТОЕЛЕКТРОННОГО ВИМІРЮВАЧА
КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ В РУДНИЧНІЙ АТМОСФЕРІ ШАХТ**

При виконанні досліджень вимірювача концентрації метану встановлено, що використання оптоелектронних компонентів із спектрально-узгодженими характеристиками та їх заливкою халькогенідним склом підвищує оптоелектронний к.к.д. вимірювача у 1,7 разів. Впровадження запропонованих рекомендацій зменшило основну похибку вимірювання метану з 0,2 % до 0,08 % у діапазоні від 0 до 4 %.

Отриманий результат істотно перевищує показники точності існуючих аналогів вимірювачів концентрації метану в рудничній атмосфері.

Ключові слова: вимірювач, концентрація, метан, вугільна шахта, оптоелектронний блок, похибка.

При выполнении исследований измерителя концентрации метана установлено, что использование оптоэлектронных компонентов со спектрально-согласованными характеристиками и их заливкой халькогенидным стеклом повышает оптоэлектронный к.к.д. измерителя в 1,7 раз. Внедрение предложенных рекомендаций уменьшило основную погрешность измерения метана с 0,2 % до 0,08 % в диапазоне от 0 до 4 %.

Полученный результат существенно превышает показатели точности существующих аналогов измерителей концентрации метана в рудничной атмосфере шахт.

Ключевые слова: измеритель, концентрация, метан, угольная шахта, оптоэлектронный блок, погрешность.

In carrying out the concentration methane meter research following information has been obtained: optoelectronic components using with consistent spectral characteristics and their chalcogenide glass casting increases the efficiency of optoelectronic meter at 1.7 times. The implementation of proposed recommendations reduced basic error of the methane measuring from 0.2 % to 0.08 % in the range from 0 to 4 %.

The obtained result is significantly higher than the accuracy of the existing analogue gauges of the methane concentration in the mine atmosphere.

Keywords: measurer, concentration, methane, coal mine, optoelectronic unit, error.

Вступ. У зв'язку з наявністю агресивного середовища рудничної атмосфери і комплексу дестабілізуючих факторів, зміни яких впливають на результати вимірювань концентрації метану до сьогодні не було можливості створити швидкодіючі високоточні газоаналітичні вимірювачі з необхідними метрологічними характеристиками [1]. Існуючі вимірювачі не забезпечують потрібну швидкодію вимірювання концентрації газів за регламентованими показниками точності [2] та метрологічної надійності.

Значною мірою цю проблему можна вирішити з використанням новітніх систем оптоелектронного вимірювального контролю концентрації метану в гірничих виробках вугільних шахт [3]. Проте недостатній розвиток теоретичної бази вимірювальних систем концентрації газових компонент перешкоджає створенню сучасних засобів аерогазового контролю.

Отже, вирішення проблеми розвитку існуючих методів і створення принципово нових підходів до вимірювання концентрації газових компонент [4] дозволив розробити науково-практичний підхід до побудови серійних вимірювачів на базі оптоелектронної платформи для контролю параметрів рудничної атмосфери в реальному масштабі часу з необхідними метрологічними характеристиками [5, 6], що і є принципово важливою проблемою в теоретичній та прикладній площинах.

Постановка задач досліджень. Метою роботи є підвищення точності оптоелектронного вимірювача концентрації метану в рудничній атмосфері шляхом підвищення оптоелектронного к.к.д., що дозволило зменшити величину основної похибки вимірювання при збереженні його регламентованої швидкодії. Для досягнення мети у роботі поставлені задачі:

– розробити математичну модель оптоелектронного блоку вимірювача;

– оцінити вплив зміни дестабілізуючих факторів на результат вимірювання концентрації метану;

– розробити пропозиції щодо зменшення величини похибки вимірювання концентрації метану.

Результати розробки та досліджень. До складу вимірювача концентрації метану в рудничній атмосфері входить оптоелектронний та аналоговий блоки (див. рис. 1). Оптоелектронний блок складається з джерела випромінювання (ДВ), модулятора оптичного випромінювання (МД), вимірювального відкритого оптичного каналу (ОК) і фотодетектора (ФД). До складу аналогового блоку входить фотоприймальний пристрій (ФПП), демодулятор (ДМ) та нормувальний перетворювач (НП), який нормує характеристику перетворення вимірювача до уніфікованого вигляду для подальшого перетворення та обробки у цифровому вигляді з передачею інформації щодо зміни концентрації метану до системи аерогазового захисту шахт.

Для отримання характеристик перетворення швидкодіючого оптоелектронного вимірювача концентрації метану в рудничній атмосфері шахт здійснено облік інформативного параметра – концентрації метану ($C_{CH_4, 0\%}$) та дестабілізуючих факторів – конструктивні параметри оптико-абсорбційного вимірювача.

Принцип вимірювання базується на поглинанні оптичного випромінювання в ОК та описується законом Бугера-Ламберта-Бера [7], який зв'язує інтенсивність поглинання ($I_{ВЛХ ОК}$) з довжиною шляху (l) та концентрацією вимірювального газового компоненту (C_{CH_4}). Під час розробки математичної моделі визначено коефіцієнт передачі оптичного каналу $T_{ПР}$ (див. рис. 1), який дорівнює відношенню інтенсивності вихідного ($I_{ВЛХ ОК}$) до вхідного ($I_{ВХ ОК}$) оптичних потоків ОК.

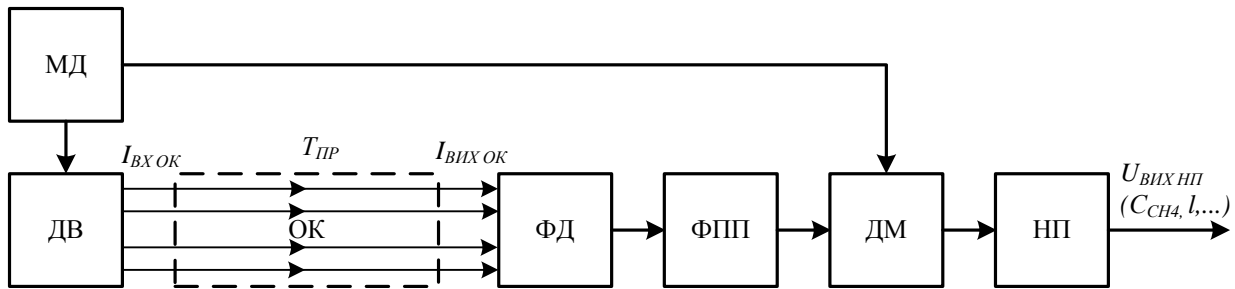


Рис. 1 – Структурна схема оптоелектронного вимірювача концентрації метану

У оптоелектронному блоці необхідно забезпечити максимальний коефіцієнт передачі $T_{ПР}$ відкритого ОК. Тому виникає задача проведення досліджень впливу дестабілізуючих факторів та розробки методів і засобів для забезпечення мінімізації їх впливу. Розробка та реалізація відповідних рекомендацій дозволило підвищити якість аналітичних оптоелектронних вимірювачів концентрації газових компонент, які розробляються або вдосконалюються, для виробничих умов рудничної атмосфери вугільних шахт та систем екологічного моніторингу.

Залежно від типу призначення та спеціалізованих функцій, що реалізуються оптичними системами, використовують різні критерії їх якості. До числа загальних критеріїв для більшості систем відносяться коефіцієнт корисної дії оптичної системи η_O (оптичний к.к.д.), який визначає втрати потужності випромінювання у системі з обліком передавальної та приймальної частини. Також до цих критеріїв відносяться коефіцієнт оптичного підсилення системи, оптичну передавальну функцію, роздільну здатність і низку пов'язаних з ними параметрів, які описують просторове розподілення системи. У цій роботі під час складання моделі оптичного вимірювального каналу концентрації метану запропоновано використовувати кількісний критерій якості оптичної системи – максимум к.к.д.

Під час аналізу математичної моделі оптичного вимірювального каналу концентрації метану запропоновано використовувати комплексний показник – оптоелектронних к.к.д. (η_{OE}), який визначає частку корисного сигналу, що надходить до входу вимірювача. Цей сигнал використовується для створення вихідного сигналу, який має інформативну складову. К.к.д. залежить від дестабілізуючих факторів, найважливіші з яких:

- втрати потоку в оптичній системі вимірювача, значення яких оцінюються оптичним к.к.д. (η_O);
- втрати через відсутність належного спектрального узгодження параметрів оптоелектронних компонент вимірювача, а також просторових параметрів приймача з параметрами оптичної та електронної системи, значення яких оцінюється коефіцієнтом узгодження ($\eta_{УЗ}$);
- втрати при модуляції та обробці сигналу, які враховуються коефіцієнтом модуляції (k_M).

Отже, к.к.д. оптоелектронного вимірювального каналу концентрації метану може бути розраховано за співвідношенням:

$$\eta_{OE} = \eta_O \cdot \eta_{УЗ} \cdot k_M. \quad (1)$$

Для оцінки величини оптоелектронного к.к.д. (η_{OE}) необхідно розробити і дослідити модель втрат потоку оптичного випромінювання у відкритому каналі вимірювача концентрації метану. Для більшості оптичних систем під оптичним к.к.д. η_O зазвичай розуміють відношення потоку ($\Phi_{ПР}$), що надходить до приймача до потоку, який надійшов від ДВ (Φ_0). Тому η_O оцінюється:

$$\eta_O = \frac{\Phi_{ПР}}{\Phi_0} = \tau_O \cdot k_D, \quad (2)$$

де τ_O – коефіцієнт пропускання оптичної системи;

k_D – коефіцієнт діафрагмування, що враховує можливе затемнення центру зіниці лінзи, або віньєтування – затемнення крайового периметру лінзи.

У оптичній системі основні втрати випромінювання обумовлено віддзеркаленням на межах оптичних середовищ, поглинанням у матеріалах оптичних компонентів вимірювача, а також за під час віньєтування або діафрагмування оптичних потоків випромінювання. На основі теорії оптичних систем [8] її коефіцієнт пропускання, що враховує втрати на поглинання та віддзеркалення, описуються такою залежністю:

$$\tau_O = \prod_{k=1}^N (1 - \rho_k) \cdot \prod_{m=1}^p (1 - a_{om}) \cdot \prod_{n=1}^{N_3} \rho_{дзн}, \quad (3)$$

де N – число поверхонь розділу;

ρ_k – коефіцієнт віддзеркалення на k -й поверхні розділу оптичного середовища;

p – число оптичних середовищ, крізь які проходить випромінювання;

a_{om} – коефіцієнт поглинання променів у m -му оптичному середовищі;

$\rho_{дзн}$ – коефіцієнт віддзеркалення на n -й дзеркальній поверхні;

N_3 – число дзеркальних поверхонь.

Основними компонентами оптоелектронного блоку, оптичну схему якого наведено на рис. 2, разом з ОК вимірювача є світловипромінюючий діод (СВД) та фотодіод (ФД) з лінзами фокусування (L_1 і L_2) потоку оптичного випромінювання. Вибір СВД та ФД ІЧ-випромінювання ґрунтується на узгодженості спектру поглинання метану в ОК із спектральними характеристиками, як СВД, так і ФД. Як ДВ вимірювального каналу обрано СВД типу

lms34LED [9] з $\lambda_{lms34LED} = 3,4$ мкм, яка відповідає максимальній інтенсивності спектральних ліній поглинання метану. За рекомендаціями виробника цих оптоелектронних компонентів обрано ФД типу lms36PD [10], оскільки його спектральні характеристики найбільш близькі та узгоджені із спектральними характеристиками СВД типу lms34LED.

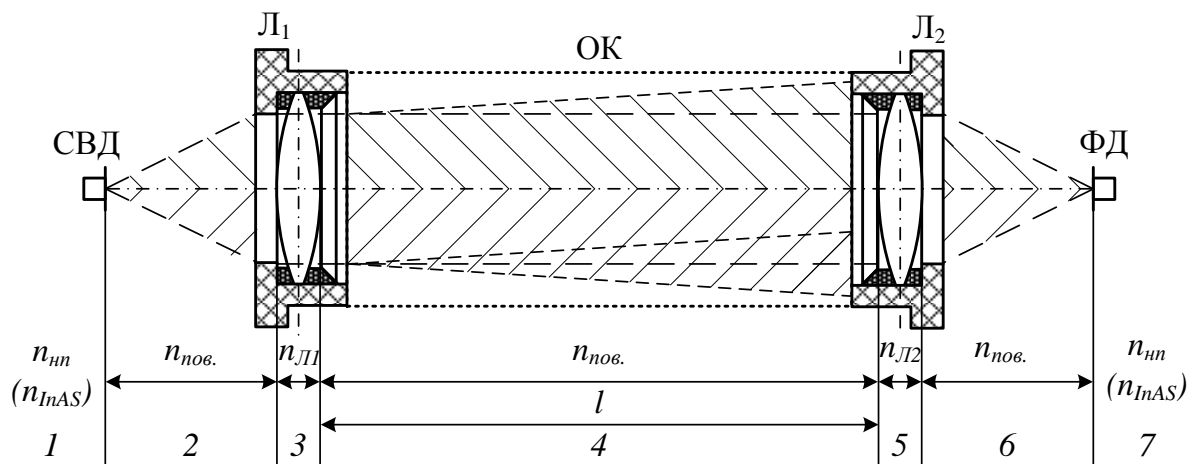


Рис. 2 – Оптична схема вимірювача концентрації метану

Коефіцієнт пропускання оптичного випромінювання, яке надходить за нормаллю до поверхні розділу двох середовищ – напівпровідник-повітря ($T_{пт, нов.}$) для СВД та повітря-напівпровідник ($T_{нов., пт}$) для ФД, визначається за формулою:

$$T_{пт, нов.}(n_{пт}) = T_{нов., пт}(n_{пт}) = \frac{4 \cdot n_{пт} \cdot n_{нов.}}{(n_{нов.} + n_{пт})^2}, \quad (4)$$

для поверхні GaAs ($n_{пт} = n_{GaAs} = 3,54$) – повітря ($n_{нов.} = 1$) він дорівнює 0,69; InAs ($n_{пт} = 3,4$) – повітря – 0,70; GaP ($n_{GaP} = 3,3$) – повітря – 0,71. Біля критичного кута виведення випромінювання з СВД коефіцієнт пропускання ($T_{пт, нов.} = T_{нов., пт}$) зменшується. Середній коефіцієнт пропускання для таких напівпровідників зменшується не більше ніж на 3 %, при цьому його значення складає 0,67; 0,68 і 0,69 відповідно. Під час розробки оптоелектронного блоку вимірювального каналу концентрації метану як ДВ

використовуються СВД типу lms34LED [9], що виготовлено на основі ґратчастої гетероструктури InAsSbP/InAs з коефіцієнтом заломлення оптичного випромінювання, величина якого складає 3,4.

Як оптичний матеріал, з якого виготовляються лінзи (L_1 і L_2) оптичної системи (див. рис. 2), використовується синтетичний сапфір (Al_2O_3), показник заломлення ($n_{Л} = n_{Al_2O_3}(\lambda)$) якого залежить від довжини хвилі випромінювання. У робочому діапазоні довжин хвиль (від 2,8 до 4,4 мкм) оптоелектронних компонентів вимірювального каналу концентрації метану показник заломлення $n_{Al_2O_3}(\lambda)$ змінюється від 1,720 до 1,649, що складає не більше 5 %, тому цим фактором можна знехтувати.

Коефіцієнт пропускання оптичної системи τ_o , структуру якої наведено на рис. 2, з обліком втрат оптичного випромінювання під час поглинання та віддзеркалення на основі (3), розраховано за таким співвідношенням:

$$\begin{aligned} \tau_o(n_{пт}, n_{Л}) &= \\ &= T_{пт, нов.}(n_{пт}) \cdot T_{нов., Л1}(n_{Л}) \cdot T_{Л1, нов.}(n_{Л}) \cdot T_{нов., Л2}(n_{Л}) \cdot T_{Л2, нов.}(n_{Л}) \cdot T_{нов., пт}(n_{пт}) = \\ &= \frac{4 \cdot n_{пт} \cdot n_{нов.}}{(n_{нов.} + n_{пт})^2} \cdot \frac{4 \cdot n_{нов.} \cdot n_{Л1}}{(n_{Л1} + n_{нов.})^2} \cdot \left(\frac{4 \cdot n_{нов.} \cdot n_{Л}}{(n_{Л} + n_{нов.})^2} \right)^2 \cdot \frac{4 \cdot n_{Л2} \cdot n_{нов.}}{(n_{нов.} + n_{Л2})^2} \cdot \frac{4 \cdot n_{нов.} \cdot n_{пт}}{(n_{пт} + n_{нов.})^2} = \\ &= \frac{4 \cdot 3,4 \cdot 1}{(1 + 3,4)^2} \cdot \frac{4 \cdot 1 \cdot 1,693}{(1,693 + 1)^2} \cdot \left(\frac{4 \cdot 1 \cdot 1,693}{(1,693 + 1)^2} \right)^2 \cdot \frac{4 \cdot 1,693 \cdot 1}{(1 + 1,693)^2} \cdot \frac{4 \cdot 1 \cdot 3,4}{(3,4 + 1)^2} = 0,375. \end{aligned} \quad (5)$$

З аналізу результатів оцінки коефіцієнта пропускання оптичної системи, які наведено у формулі (5), можна зробити висновок, що оптичний к.к.д. каналу без урахування втрат випромінювання під час його введення до вікна ФД складає не більше 38 %. Основні втрати оптичної потужності мають місце (див. рис. 2) на межах розділу 1–2 і 2–3 передавальної ($T_{нп,нов} \cdot T_{нов,Л1}$), а також 5–6 і 6–7 приймальної ($T_{Л1,нов} \cdot T_{нов,нп}$) частини системи. На основі проведених розрахунків за формулою (5) їх величина складає 0,656 для кожного з вузлів вимірювального каналу окремо.

Зниження величини цих втрат є можливим завдяки використанню об'ємного покриття відповідної форми активного елемента випромінювача (СВД) і приймача (ФД). Це покриття повинно бути оптично прозорим матеріалом з показником заломлення ($n_{ск}$),

$$\begin{aligned} \tau'_o(n_{нп}, n_{ск}) &= T_{нп,ск}(n_{нп}, n_{ск}) \cdot T_{ск,нов}(n_{ск}) \cdot T_{нов,ск}(n_{ск}) \cdot T_{ск,нп}(n_{нп}, n_{ск}) = \\ &= \frac{4 \cdot n_{нп} \cdot n_{ск}}{(n_{ск} + n_{нп})^2} \cdot \left(\frac{4 \cdot n_{нов} \cdot n_{ск}}{(n_{ск} + n_{нов})^2} \right)^2 \cdot \frac{4 \cdot n_{ск} \cdot n_{нп}}{(n_{нп} + n_{ск})^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Під час проведення досліджень отримано залежність відношення оптичних к.к.д. $\tau'_o(n_{нп}, n_{ск})$ з використанням об'ємних покриттів оптоелектронних компонентів вимірювача і $\tau_o(n_{нп}, n_{Л1})$ без покриттів від зміни показника заломлення цього покриття ($n_{ск}$), що наведено на рис. 3.

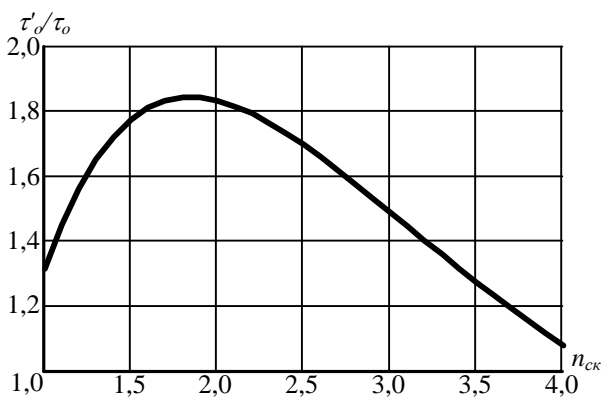


Рис. 3 – Зміна відношення оптичних к.к.д. $\tau'_o(n_{нп}, n_{ск})$ з використанням об'ємних покриттів активних елементів СВД і ФД та $\tau_o(n_{нп}, n_{Л1})$ без покриття від зміни $n_{ск}$

З аналізу залежності (див. рис. 3) можна зробити висновок, що під час використання об'ємних покриттів СВД і ФД, які мають показники заломлення оптичного випромінювання $n_{ск} = 1,8$, досягається збільшення оптичного к.к.д. у 1,8 разів порівняно з системою без покриття оптоелектронних компонентів вимірювального каналу концентрації метану. Як ці покриття рекомендується використовувати такі халькогенідні стекла типу від $Ge_{25}Sb_{10}S_{65}$, які мають мінімальний коефіцієнт заломлення оптичного випромінювання 2,25, до $Ge_{15}Ga_{10}Te_{75}$ з максимальним

величина якого є близькою до показника заломлення використаного напівпровідника ($n_{InAs} \approx n_{ск}$). Це значно підвищує коефіцієнт введення та виведення оптичного випромінювання. Перевага такого способу полягає у його простоті й технологічності, а також у можливості одночасного забезпечення захисту активних елементів СВД і ФД від механічних пошкоджень і впливу навколишнього середовища. Під час заповнення просторів між СВД і Л1 (2 на рис. 2) та Л2 і ФД (6 на рис. 2) зникають межі розділів 2–3 і 5–6. При цьому використане покриття оптоелектронних компонентів вимірювача виконує функцію лінз. Отже, коефіцієнт пропускання системи τ'_o , структуру якої наведено на рис. 2, при обліку властивостей використаних покриттів та відсутності меж розділів 2–3 і 5–6 відповідно розраховується за формулою:

– 3,415. Виробником використаних СВД і ФД у вимірювачі, на основі технологічних особливостей його промислових потужностей, запропоновано використовувати халькогенідне скло типу As_2S_3 . Це скло має значення показника заломлення випромінювання 2,42 на довжині хвилі 3 мкм. При цьому оптичний к.к.д. збільшено у 1,7 разів порівняно з системою без покриття оптоелектронних компонентів вимірювального каналу. Зовнішній вигляд СВД типу lms34LED [9] з покриттям на основі халькогенідного скла типу As_2S_3 наведено на рис. 4.

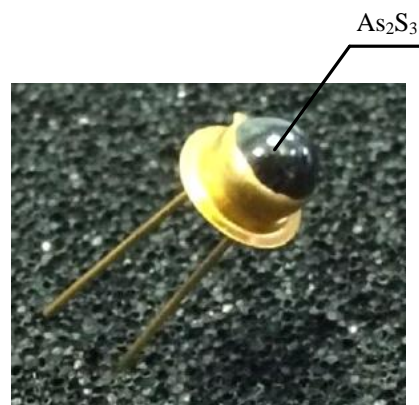


Рис. 4 – Зовнішній вигляд СВД типу lms34LED з покриттям із халькогенідного скла типу As_2S_3

Під час аналізу результатів теоретичних та експериментальних досліджень у роботі [3] визначено, що для отримання необхідного відношення сигнал/шум при мінімальному вимірюваному значенні концентрації метану ($\pm 0,2$ %) [2], необхідно забезпечити довжину траси ОК від 3,2 до 3,6 см. Довжина траси ОК, значення якої рекомендовано у роботі [3], складає 3,4 см, при цьому коефіцієнт вводу випромінювання до оптичної системи складає

$k_{BB} = 0,678$. Відношення сигнал/шум вихідного сигналу вимірювача складає не менше 2,5, що дозволяє проводити вимірювання концентрації метану з величиною абсолютної похибки не більше 0,08^{об.%} у діапазоні вимірювання від 0 до 4^{об.%}.

Оптичний к.к.д. вимірювача складає:

$$\eta_O = \tau_O \cdot k_D = 0,647 \cdot 0,678 = 0,44,$$

порівняно з $\eta_O = 0,25$ без заливки СВД халькогенідним склом. На основі проведених теоретичних досліджень, результати яких підтверджено лабораторними випробуваннями, можна зробити висновок, що використання заливки СВД, не менше ніж у 1,7 разів підвищує оптичний к.к.д. вимірювального каналу, тим самим пропорційно підвищуються його показники точності.

Висновки.

1. Розроблено математичну модель формування інформаційних параметрів і дестабілізуючих факторів оптико-абсорбційного вимірювача концентрації метану. В основу розробленої моделі встановлено комплексний показник – оптоелектронний к.к.д.

2. Аналіз результатів моделювання та експериментальних досліджень вимірювального каналу концентрації метану доводить, що використання СВД типу lms34LED і ФД типу lms36PD із спектрально-узгодженими характеристиками та їх заливкою халькогенідним склом типу As₂S₃ підвищує показник оптоелектронного к.к.д. у 1,7 разів.

3. Впровадження запропонованих рекомендацій під час розробки вимірювача зменшило основну похибку вимірювання з $\pm 0,2$ ^{об.%}, згідно з вимогами ДСТУ [2], до 0,08^{об.%} у діапазоні вимірювання концентрації метану від 0 до 4^{об.%}. Отриманий результат істотно перевищує показники точності існуючих вітчизняних і зарубіжних аналогів вимірювачів концентрації метану.

Список літератури

1. *Азаров Н. Я.* Возможности системы УТАС для диагностики аварийных ситуаций по газовому фактору / *Н. Я. Азаров, А. В. Анциферов, М. Г. Тиркель* и др. // *Наук.пр. УкрНДМІ НАН України.* – 2009. – № 5, ч.1 – С. 503 – 512.
2. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания: ДСТУ ГОСТ 24032:2009. – Действ. от 2009-02-01. – К.: Держспоживстандарт, 2009. – 24 с.
3. *Вовна О. В.* Методи і засоби побудови комп'ютеризованих оптоелектронних вимірювальних систем концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері шахт: автореф. дис. на здобуття наук ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти» / *Вовна Олександр Володимирович*; Держ. вищ. навч. заклад «Донецький національний технічний університет». – Красноармійськ, 2015. – 40 с.
4. *Вовна А. В.* Повышение эффективности информационно-измерительных систем научно-исследовательского и промышленного применения / *А. В. Вовна, А. А. Зори, В. Д. Корнев* и др. // *Известия ЮФУ. Технические науки.* Тематич. вып. «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении». – Таганрог, 2011. – № 5 (118). – С. 69 – 74.

5. *Вовна А. В.* Быстродействующий измеритель концентрации метана в рудничной атмосфере угольных шахт / *А. В. Вовна, А. А. Зори* // *Вісн. Кременчуцьк. нац. ун-ту ім. Михайла Остроградського.* – Кременчук, 2013. – Вип. 6 (83). – С. 114 – 119.
6. *Hartman H. L.* Mine ventilation and air conditioning / *H. L. Hartman.* – 3-rd ed. – NY.: John Wiley & Sons, 2012. – 752 p.
7. *Zuev V. E.* Laser beam in the atmosphere / *V. E. Zuev.* – New York: Plenum Publishing Corporation, 1982. – 503 p.
8. *Заказнов Н. П.* Прикладная геометрическая оптика / *Н. П. Заказнов.* – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с.
9. БАТ «ІЕД Микросенсор НТ» [Електронний ресурс]: Специф. СД 2700 – 5000 нм. – Режим доступу: <http://ru.lmsnt.com/download/download-led3>. – Назва з титул. екрану.
10. БАТ «ІЕД Микросенсор НТ» [Електронний ресурс]: Специф. ФД 3600 нм. – Режим доступу: <http://ru.lmsnt.com/download/photodiodes-3600nm>. – Дата звертання: 20 травня 2016.

References (transliterated)

1. *Azarov N. Ja., Anciferov A. V., Tirkel M. G. etc* *Vozmozhnosti sistemy UTAS dlja diagnostiki avarijnyh situacij po gazovomu faktoru* [Features UTAS systems for the diagnosis of accidents on the gas factor]. *Nauk.pr. UkrNDMI NAN Ukraini*, 2009, No. 5, issue 1, pp. 503–512.
2. Ukraine Ministry of Coal Industry (2009), *24032:2009. Pribory shahtnye gazoanaliticheskie. Obshhie trebovanija, metody ispytaniya* [24032:2009 Mine gas analysis instruments. General requirements, test methods.], Ukraine Ministry of Coal Industry, Kiev, Ukraine.
3. *Vovna O. V.* *Metodi i zasobi pobudovi komp'juterizovanih optoelektronnih vimirjuval'nih sistem koncentracii metanu ta pilu v rudnichnij atmosferi shaht* [Methods and means of the creation of computerized optical electronic methane and dust concentration measuring systems for mine atmosphere]. Doctor of Sciences. Thesis, Computer Systems and Components, State Higher Educational Establishment «Donetsk National Technical University», Krasnoarmejsk, Ukraine, 2015, 40 p.
4. *Vovna A. V., Zori A. A., Korenev V. D. etc* *Povyshenie jeffektivnosti informacionno-izmeritel'nyh sistem nauchno-issledovatel'skogo i promyshlennogo primenenija* [The improvement efficiency of information-measuring systems of scientific research and industrial applications]. *Izvestija JuFU. Tehniceskie nauki: Tematich. vyp. «Komp'juternye i informacionnye tehnologii v nauke, inzhenerii i upravlenii»*. Taganrog, 2011, No. 5 (118), pp. 69–74.
5. *Vovna A. V., Zori A. A.* *Bystrodejstvujushij izmeritel' koncentracii metana v rudnichnoj atmosfere ugl'nyh shaht* [The speed methane concentration meter in the atmosphere of coal mines]. *Visnik Kremenchuc'kogo nacional'nogo universitetu im. Mihajla Ostrograd'skogo*. Kremenchuk, 2013, No. 6 (83), pp. 114–119.
6. *Hartman H. L.* Mine ventilation and air conditioning, New York John Wiley & Sons, 2012, 352 p.
7. *Zuev V. E.* Laser beam in the atmosphere New York, Plenum Publishing Corporation, 1982, 503 p.
8. *Zakaznov N. P.* *Prikladnaja geometricheskaja optika* [Applied geometric optics], Moscow, Mashinostroenie, 1984, 184 p.
9. LED Microsensor LED 2700 – 5000 nm. Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: <http://ru.lmsnt.com/download/download-led3> (accessed 20/05/2016).
10. LED Microsensor PD 3600 nm. Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: <http://ru.lmsnt.com/download/photodiodes-3600nm>. (accessed 20/05/2016).

Надійшла (received) 25.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Підвищення точності оптоелектронного вимірювача концентрації газу в рудничній атмосфері шахт / О. В. Вовна, А. А. Зорі, Р. Н. Ахмедов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 4 (1226). – С. 19–24. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-4525.

Повышение точности оптоэлектронного измерителя концентрации газа в рудничной атмосфере шахт / А. В. Вовна, А. А. Зори, Р. Н. Ахмедов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 4 (1226). – С. 19–24. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-4525.

The accuracy improving of the gas concentrations optoelectronic meter for the coal mines atmosphere / O. V. Vovna, A. A. Zori, P. N. Akhmedov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Elektroenergetika i preobrazovatel'naya tehnika. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 4 (1226). – P. 19–24. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-4525.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Вовна Олександр Володимирович – доктор технічних наук, доцент, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», професор кафедри електронної техніки, м. Покровськ (Красноармійськ); тел.: +38(050) 193-35-44; e-mail: Vovna_Alex@ukr.net.

Вовна Александр Владимирович – доктор технических наук, доцент, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», профессор кафедры электронной техники, г. Покровск (Красноармейск); тел.: +38(050) 193-35-44; e-mail: Vovna_Alex@ukr.net.

Vovna Oleksandr Volodimirovich – Doctor of Technical Sciences, Docent, State Higher Education Establishment «Donetsk National Technical University», Professor at the Department of Electronic Technique, Pokrovsk (Krasnoarmiisk); tel.: +38(050) 193-35-44; e-mail: Vovna_Alex@ukr.net.

Зорі Анатолій Анатолійович – доктор технічних наук, професор, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», завідувач кафедри електронної техніки, м. Покровськ (Красноармійськ); тел.: +38(050) 174-12-14; e-mail: Zori_AA@mail.ru.

Зори Анатолий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», заведующий кафедры электронной техники, г. Покровск (Красноармейск); тел.: +38(050) 174-12-14; e-mail: Zori_AA@mail.ru.

Zori Anatolij Anatolijovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, State Higher Education Establishment «Donetsk National Technical University», Head at the Department of Electronic Technique, Pokrovsk (Krasnoarmiisk); tel.: +38(050) 174-12-14; e-mail: Zori_AA@mail.ru.

Ахмедов Рамін Нізамійович – Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», аспірант кафедри електронної техніки, м. Покровськ (Красноармійськ); тел.: +38(095) 512-67-99; e-mail: Akhmedov_Ramin@ukr.net.

Ахмедов Рамин Низамиевич – Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», аспирант кафедры электронной техники, г. Покровск (Красноармейск); тел.: +38(095) 512-67-99; e-mail: Akhmedov_Ramin@ukr.net.

Ahmedov Ramin Nizamijovich – State Higher Education Establishment «Donetsk National Technical University», Aspirant at the Department of Electronic Technique, Pokrovsk (Krasnoarmiisk); tel.: +38(095) 512-67-99; e-mail: Akhmedov_Ramin@ukr.net.