

О.В. Вовна

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк
кафедра електронної техніки
E-mail: Vovna_Alex@ukr.net

РОЗРОБКА МЕТОДУ КОМПЕНСАЦІЇ ВУГІЛЬНОГО ПИЛУ ДЛЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ

Анотація

Вовна О.В. Розробка методу компенсації вугільного пилу для інфрачервоного вимірювача концентрації метану. Розроблено метод компенсації впливу вугільного пилу на результати вимірювання концентрації метану для інфрачервоного оптико-абсорбційного вимірювача. Використання розробленого методу в оптичних вимірювачах концентрації метану дозволяє експлуатувати їх в умовах високої запиленості вугільних шахт.

Ключові слова: вимірювач, інфрачервоний метод, метод компенсації, вугільний пил, концентрація, метан, точність, швидкодія.

Загальна постановка проблеми.

Із зростанням глибини розробок вугілля збільшується газонасність вироблень та частота газодинамічних проявів, що призводить до збільшення аварійних ситуацій при проведенні гірничих робіт. У таких умовах особливого значення набувають питання забезпечення вугільних підприємств швидкодіючими та надійними засобами автоматичного контролю концентрації метану у рудничній атмосфері. Швидкодія вимірювача, згідно вимог ГОСТ [1] не повинна перевищувати 0,8 с при абсолютному значенні похибки вимірювання не більш 0,2^{об.}% у діапазоні вимірювання від 0 до 4,0^{об.}%. Існуючі засоби вимірювання не забезпечують отримання інформації про процеси зміни концентрації метану з необхідними статичними та динамічними похибками. Для підвищення швидкодії вимірювача було запропоновано [2] використовувати інфрачервоний оптико-абсорбційний метод вимірювання концентрації газів.

Постановка задачі дослідження.

При аналізі існуючих засобів контролю, які засновані на цьому методі вимірювання та при математичному моделюванні вимірювача концентрації метану [2], було виявлено ряд дестабілізуючих факторів рудничної атмосфери: вугільний пил, наявність газів та пари води, температура та атмосферний тиск, зміна яких знижує метрологічні характеристики вимірювача. Одним з основних дестабілізуючих факторів рудничної атмосфери, який має істотний вплив на показники точності вимірювача концентрації метану, є наявність вугільного пилу у відкритому оптичному каналі вимірювача. Для підвищення точності засобу вимірювання концентрації метану, який розробляється, в умовах запиленості рудничної атмосфери необхідно розробити метод компенсації впливу вугільного пилу на результати вимірювань концентрації метану.

Рішення задачі та результати дослідження.

В основу методу компенсації покладена наступна ідея: оптичний канал вимірювача повинен бути оптично прозорий для спектральної смуги поглинання метану та частково оптично прозорий для розсіювання випромінювання вугільним пилом. Для реалізації цього методу компенсації використано наступну модель впливу дестабілізуючих факторів, які призводять до зміни оптичної потужності інфрачервоного випромінювання у відкритому оптичному каналі вимірювача, яку наведено на рис. 1 .

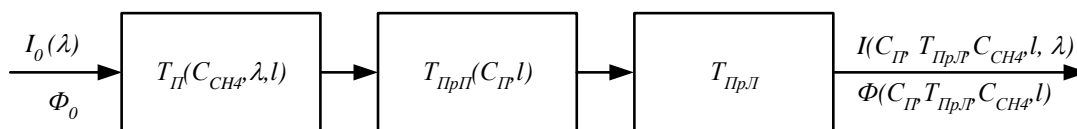


Рисунок 1 – Фактори, які призводять до зміни оптичної потужності випромінювання у відкритому оптичному каналі вимірювача

В цій моделі вплив інформативного параметру та дестабілізуючих факторів на оптичну потужність інфрачервоного випромінювання Φ_0 представлений у вигляді ланок, які характеризуються коефіцієнтом поглинання $T_{II}(C_{CH_4}, \lambda, l)$ метану, коефіцієнтом пропускання $T_{PrII}(C_{II}, l)$ пиловим аерозолем та коефіцієнтом пропускання T_{PrL} запилених лінз відкритого оптичного каналу, що обумовлено поглинанням та розсіюванням у певному діапазоні довжин хвиль оптичного випромінювання. $I_0(\lambda)$ та (Φ_0) ; $I(C_{II}, T_{PrL}, C_{CH_4}, l, \lambda)$ та $\Phi(C_{II}, T_{PrL}, C_{CH_4}, l)$ – інтенсивності та потужності вхідного і вихідного потоку оптичного випромінювання відповідно. Для компенсації впливу вугільного пилу на метрологічні характеристики вимірювача концентрації метану, у роботі [3] запропоновано використовувати оптико-електронний блок у складі вимірювача, який складається із двох просторових відкритих оптичних каналів: основного вимірювального ОК₁ та компенсаційного ОК₂, схему яких наведено на рис. 2.

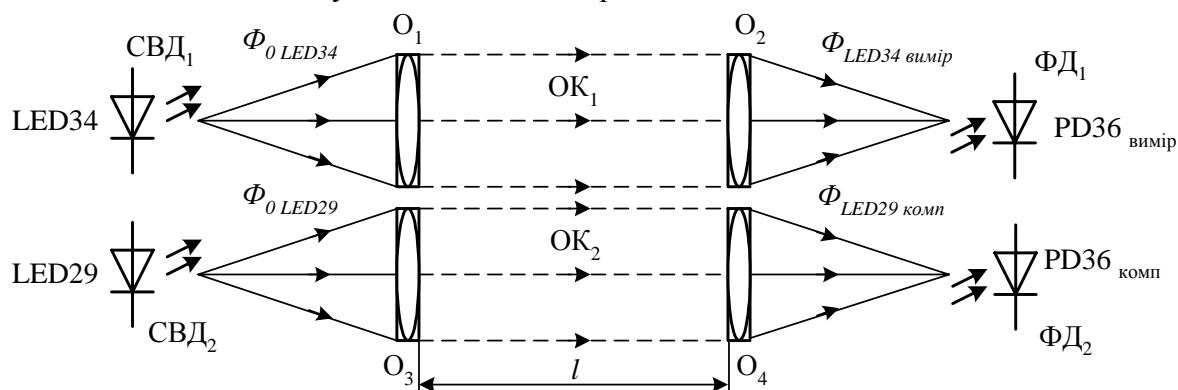


Рисунок 2 – Схема оптичних каналів вимірювача концентрації метану

В якості джерела інфрачервоного випромінювання основного вимірювального каналу ОК₁ використовується світловипромінюючий діод LED34–TEC–PR–1 [4] з робочою довжиною хвилі $\lambda_{LED34} = 3,4$ мкм, яка відповідає максимальній інтенсивності спектральних ліній поглинання метану. Для вибору інфрачервоного випромінювача компенсаційного каналу ОК₂ були проведені дослідження із застосуванням різних інфрачервоних випромінювачів на основі світловипромінюючих діодів. При аналізі спектру поглинання метану $T_{II}(C_{CH_4}, \lambda, l)$ [2] (див. рис. 3) було встановлено, що у діапазоні довжин хвиль від 2,2 мкм до 3,1 мкм інтенсивність поглинання метаном інфрачервоного випромінювання практично дорівнює нулю. На підставі проведених досліджень для компенсації вугільного пилу та запыленості лінз відкритого оптичного каналу запропоновано використовувати в якості інфрачервоного випромінювача для компенсаційного каналу світловипромінюючий діод LED29–TEC–PR–1 [4], який має робочу довжину хвилі $\lambda_{LED29} = 2,9$ мкм. На рис. 3 наведено нормовану спектральну характеристику $s_{LED29}(\lambda)$ світловипромінюючого діоду LED29–TEC–PR–1 [4] та нормовану спектральну чутливість $s_{PD36}(\lambda)$ фотодіоду PD36–03–TEC1–PR, яка перекриває спектри інфрачервоного випромінювання $s_{LED34}(\lambda)$ та $s_{LED29}(\lambda)$.

Аналіз спектральної картини, яку наведено на рис. 3, показує, що компенсаційний канал є практично прозорим для спектральних ліній метану $T_{II}(C_{CH_4}, \lambda, l)$, а обидва канали є частково прозорими для пилових аерозолів $T_{PrП}(C_{II}, l)$ та запиленості лінз відкритого оптичного каналу $T_{PrП}$.

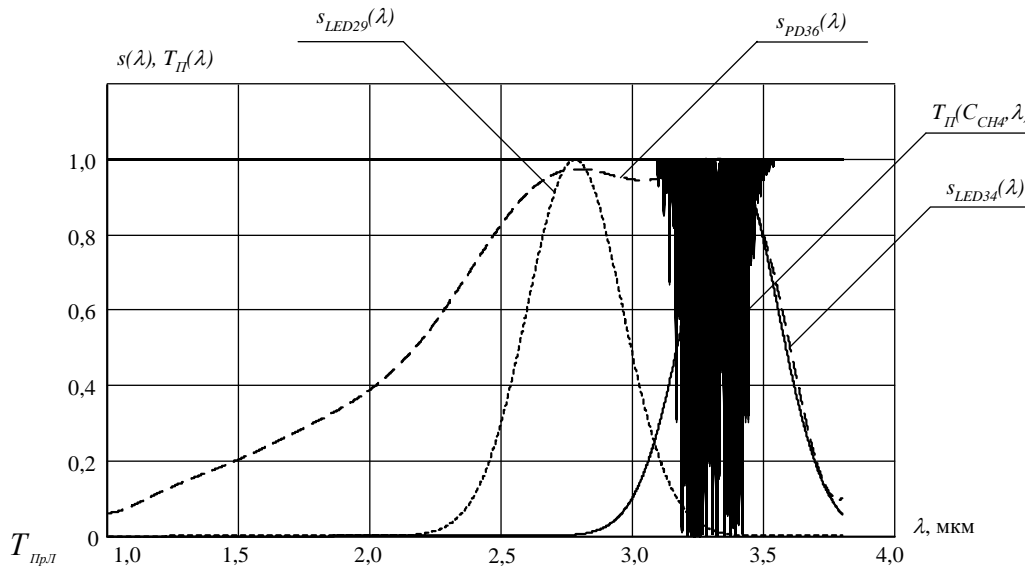


Рисунок 3 – Нормовані спектральні характеристики оптико-електронних компонент та коефіцієнту пропускання оптичного каналу

Механізм взаємодії інфрачервоних потоків із рудничною атмосферою у відкритому оптичному вимірювальному та компенсаційному каналах проілюстровано на рис. 2. Потіки інфрачервоного випромінювання від вимірювального LED34–TEC–PR–1 та компенсаційного LED34–TEC–PR–1 світловипромінюючих діодів поступають на об'єктиви O_1 та O_3 , які формують направлені потоки випромінювання, що поступають у відкриті вимірювальний OK_1 та компенсаційний OK_2 оптичні канали. Інфрачервоні потоки, що пройшли оптичні канали вимірювача, поступають на об'єктиви O_2 та O_4 , що фокусують, які перетворюють паралельно направлені потоки у точки – фокусу, в яких розташовуються фотодетектори ΦD_1 та ΦD_2 основного вимірювального та компенсаційного каналів. В якості фотоприймача використовуються фотодіоди PD36–03–TEC1–PR. Вихідні сигнали ΦD_1 та ΦD_2 – сигнали струму, величини яких пропорційні вихідним потокам $\Phi_{ВИХ\ OK_1} \sim \Phi_{LED34}$ та $\Phi_{ВИХ\ OK_2} \sim \Phi_{LED29}$ основного вимірювального та компенсаційного оптичних каналів відповідно.

Розроблено два способи компенсації – лінійна адитивна та нелінійна мультиплікативна компенсація впливу вугільного пилу та запиленості лінз відкритого оптичного каналу на результат вимірювання концентрації метану. Виконані дослідження з реалізації та застосування кожного із запропонованих способів з метою використання розробленого двоканального оптико-електронного блоку у вимірювачах концентрації метану.

Лінійний адитивний спосіб компенсації.

Для реалізації лінійного адитивного способу компенсації впливу вугільного пилу та запиленості лінз відкритого оптичного каналу на результати вимірювання концентрації метану, розглянуто шляхи проходження потоків інфрачервоного випромінювання від світловипромінюючих діодів Φ_{0LED34} та Φ_{0LED29} через вимірювальний OK_1 та компенсаційний OK_2 відкриті оптичні канали. Потіки, що пройшли через OK_1 та OK_2 , зазнають зміни внаслідок втрат, які обумовлено трьома факторами: втрати потоків $\Delta\Phi_{P\ LED34}(C_{II}, l)$ та $\Delta\Phi_{P\ LED29}(C_{II}, l)$ за рахунок розсіювання випромінювання вугільним пилом; $\Delta\Phi_{P\ LED34}(T_{PrП})$ та

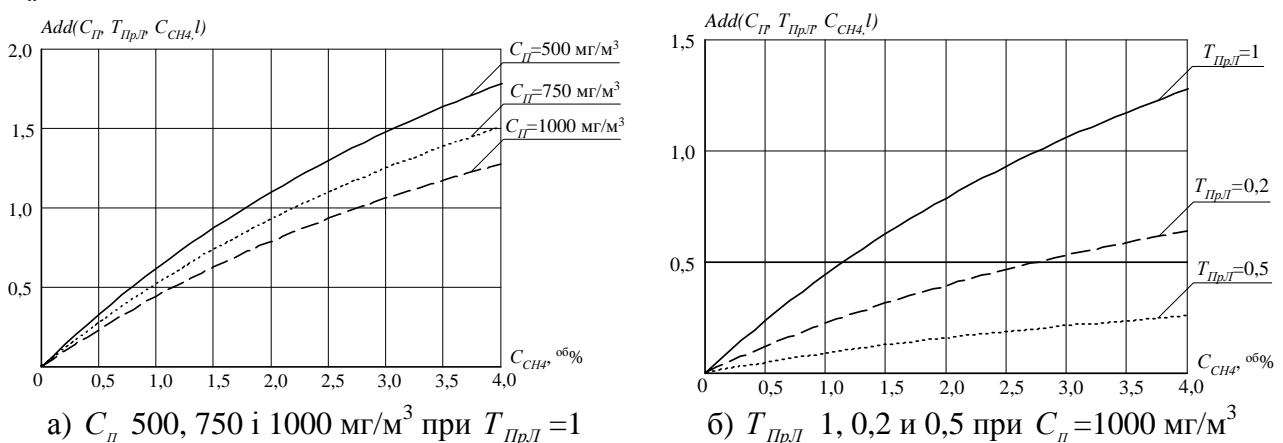
$\Delta\Phi_{P\ LED29}(T_{ПрЛ})$ розсіювання випромінювання вугільним пилом, який осів на лінзах відкритих оптичних каналів; втрати потоків $\Delta\Phi_{Пр\ LED34}(C_{CH4}, l)$ та $\Delta\Phi_{Пр\ LED29}(C_{CH4}, l)$ інфрачервоного випромінювання, які визначають поглинання метану. З урахуванням цього, потоки інфрачервоного випромінювання вимірального та компенсаційного каналів, які поступають на фотодетектори ФД₁ та ФД₂ виражаються наступними функціональними залежностями:

$$\begin{aligned} \Phi_{LED34\ вимір}(C_{П}, T_{ПрЛ}, C_{CH4}, l) &= \Phi_{0LED34} - \Delta\Phi_{Пр\ LED34}(C_{CH4}, l) - \Delta\Phi_{P\ LED34}(C_{П}, l) - \Delta\Phi_{P\ LED34}(T_{ПрЛ}); \\ \Phi_{LED29\ комп}(C_{П}, T_{ПрЛ}, C_{CH4}, l) &= \Phi_{0LED29} - \Delta\Phi_{Пр\ LED29}(C_{CH4}, l) - \Delta\Phi_{P\ LED29}(C_{П}, l) - \Delta\Phi_{P\ LED29}(T_{ПрЛ}). \end{aligned}$$

Оскільки втрати потоку інфрачервоного випромінювання, які обумовлені поглинанням метану у компенсаційному каналі, практично дорівнюють нулю (див. рис. 3), то $\Delta\Phi_{Пр\ LED29}(C_{CH4}, l) \approx 0$. Тому для виділення інформаційної складової $\Delta\Phi_{Пр}$ необхідно забезпечити рівність вихідних потоків, що еквівалентно рівності вихідних сигналів вимірвальних каналів при концентрації метану $C_{CH4} = 0^{об}\%$. Алгоритм лінійної компенсації, який реалізовано у вимірвачу концентрації метану у вугільних шахтах, представлений наступною залежністю [3]:

$$\begin{aligned} Add(C_{П}, T_{ПрЛ}, C_{CH4}, l) &= \Phi_{LED29\ комп}(C_{П}, T_{ПрЛ}, C_{CH4}, l) - \Phi_{LED34\ вимір}(C_{П}, T_{ПрЛ}, C_{CH4}, l) = \\ &= \Phi_{0LED29} - \Delta\Phi_{Пр\ LED29}(C_{CH4}, l) - \Delta\Phi_{P\ LED29}(C_{П}, l) - \Delta\Phi_{P\ LED29}(T_{ПрЛ}) - \\ &- \Phi_{0LED34} - \Delta\Phi_{Пр\ LED34}(C_{CH4}, l) - \Delta\Phi_{P\ LED34}(C_{П}, l) - \Delta\Phi_{P\ LED34}(T_{ПрЛ}) = \Delta\Phi_{Пр\ LED34}(C_{CH4}, l). \end{aligned}$$

При моделюванні адитивної компенсації одержано залежності вихідного сигналу вимірвача $Add(C_{П}, T_{ПрЛ}, C_{CH4}, l)$ від концентрації метану у діапазоні від 0 до 4^{об}.% при довжині вимірвальної бази оптичного каналу $l = 100$ мм та зміні дестабілізуючих факторів. На рис. 4, а наведено результати моделювання роботи алгоритму адитивної компенсації при зміні концентрації вугільного пилу $C_{П}$ 500, 750 та 1000 мг/м³ з коефіцієнтом пропускання інфрачервоного випромінювання запилених лінз відкритого оптичного каналу $T_{ПрЛ} = 1$. На рис. 4, б – при зміні коефіцієнту пропускання інфрачервоного випромінювання запилених лінз відкритого оптичного каналу $T_{ПрЛ}$ 1, 0,2 та 0,5 з концентрацією вугільного пилу $C_{П} = 1000$ мг/м³.



а) $C_{П}$ 500, 750 і 1000 мг/м³ при $T_{ПрЛ} = 1$ б) $T_{ПрЛ}$ 1, 0,2 і 0,5 при $C_{П} = 1000$ мг/м³
 Рисунок 4 – Залежність $Add(C_{П}, T_{ПрЛ}, C_{CH4}, l)$ від зміни концентрації метану
 у діапазоні від 0 до 4^{об}.% при $l = 100$ мм

Результати моделювання, які наведено на рис. 4, показують, що на початковій ділянці від 1 до 1,5^{об}.%, характеристика перетворення лінійна, тому у цьому діапазоні концентрацій

показники точності вимірювача не виходять за допустимі межі. Проте, при збільшенні концентрації метану, концентрації вугільного пилу та запиленості лінз у відкритому оптичному каналі, через нелінійність характеристики перетворення, абсолютна похибка вимірювання об'ємної концентрації метану досягає 1^{об.}%, що у 5 разів перевищує вимоги до точності стаціонарних метанометрів [1].

Нелінійний мультиплікативний спосіб компенсації. В основу нелінійного мультиплікативного способу компенсації покладена послідовна модель впливу факторів, які призводять до зміни потужності, а, отже, інтенсивності інфрачервоного випромінювання у вимірювальному оптичному каналі. Потік інфрачервоного випромінювання обробляється трьома ланками, які враховують поглинання інфрачервоного випромінювання метаном, розсіювання частинками вугільного пилу та розсіювання випромінювання пилом, який осів на лінзах відкритого оптичного каналу. Співвідношення, що описують зміну потужності та інтенсивності оптичного сигналу для цих факторів можуть бути одержані із використанням коефіцієнтів передачі відповідних ланок (див. рис. 1) для кожного каналу, і мають наступний вигляд:

– вимірювальний відкритий оптичний канал, сигнал основного вимірювального світловипромінюючого діоду (LED34–TEC–PR–1):

$$I_{LED34 \text{ вимір}}(C_{\Pi}, T_{\Pi\lambda\lambda}, C_{CH_4}, l, \lambda) = I_{0LED34} \cdot T_{\Pi}(C_{CH_4}, \lambda, l) \cdot T_{\text{ПрП}}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\Pi\lambda\lambda};$$

$$\Phi_{LED34 \text{ вимір}}(C_{\Pi}, T_{\Pi\lambda\lambda}, C_{CH_4}, l) = \Phi_{0LED34} \cdot T_{\Pi}(C_{CH_4}, \lambda, l) \cdot T_{\text{ПрП}}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\Pi\lambda\lambda};$$

– компенсаційний відкритий оптичний канал, сигнал компенсаційного світловипромінюючого діоду (LED29–TEC–PR–1):

$$I_{LED29 \text{ комп}}(C_{\Pi}, T_{\Pi\lambda\lambda}, C_{CH_4}, l, \lambda) = I_{0LED29} \cdot T_{\Pi}(C_{CH_4}, \lambda, l) \cdot T_{\text{ПрП}}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\Pi\lambda\lambda};$$

$$\Phi_{LED29 \text{ комп}}(C_{\Pi}, T_{\Pi\lambda\lambda}, C_{CH_4}, l) = \Phi_{0LED29} \cdot T_{\Pi}(C_{CH_4}, \lambda, l) \cdot T_{\text{ПрП}}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\Pi\lambda\lambda}.$$

Розроблена модель дозволяє оцінити ефективність методу компенсації вугільного пилу та запиленості лінз відкритого оптичного каналу на результати вимірювання концентрації метану. Для реалізації нелінійного мультиплікативного способу компенсації необхідно у вимірювачі реалізувати наступні обчислення:

$$Mux(C_{\Pi}, T_{\Pi\lambda\lambda}, C_{CH_4}, l) = \frac{\Phi_{LED34 \text{ вимір}}(C_{\Pi}, T_{\Pi\lambda\lambda}, C_{CH_4}, l)}{\Phi_{LED29 \text{ комп}}(C_{\Pi}, T_{\Pi\lambda\lambda}, C_{CH_4}, l)} = \frac{\Phi_{0LED34} \cdot T_{\Pi}(C_{CH_4}, l) \cdot T_{\text{ПрП}}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\Pi\lambda\lambda}}{\Phi_{0LED29} \cdot T_{\Pi}(C_{CH_4}, l) \cdot T_{\text{ПрП}}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\Pi\lambda\lambda}}. \text{ При}$$

реалізації цього алгоритму необхідно забезпечити рівність вихідних потоків вимірювального та компенсаційного світловипромінюючих діодів ($\Phi_{0LED34} = \Phi_{0LED29}$), або вихідних сигналів вимірювальних каналів при концентрації метану $C_{CH_4} = 0$ ^{об.}%. Враховуючи, що коефіцієнт пропускання оптичного випромінювання визначає поглинання метаном $T_{\Pi}(C_{CH_4}, l, \lambda)$ на компенсаційній довжині хвилі та дорівнює одиниці. Алгоритм нелінійної мультиплікативної компенсації, який реалізовано у вимірювачі концентрації метану у вугільних шахтах, представлений наступною залежністю [3]:

$$\begin{aligned} Mux(C_{\Pi}, T_{\text{ПрП}}, C_{CH_4}, l) &= \frac{\Phi_{0LED34} \cdot T_{\Pi}(C_{CH_4}, l) \cdot T_{\text{ПрП}}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\text{ПрЛ}}}{\Phi_{0LED29} \cdot T_{\Pi}(C_{CH_4}, l, \lambda_0 = 2,9 \text{ мкм}) \cdot T_{\text{ПрП}}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\text{ПрЛ}}} = \\ &= \frac{\Phi_{0LED34} \cdot T_{\Pi}(C_{CH_4}, l) \cdot T_{\text{ПрП}}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\text{ПрЛ}}}{\Phi_{0LED29} \cdot 1 \cdot T_{\text{ПрП}}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\text{ПрЛ}}} = T_{\Pi}(C_{CH_4}, l). \end{aligned}$$

При моделюванні алгоритму нелінійної мультиплікативної компенсації одержана залежність вихідного сигналу вимірювача $Mux(C_{\Pi}, T_{\text{ПрЛ}}, C_{CH_4}, l)$ від концентрації метану у діапазоні від 0 до 4^{об.}% при довжині вимірювальної бази оптичного каналу $l = 100$ мм та зміні дестабілізуючих факторів. На рис. 5 наведено результати моделювання роботи алгоритму мультиплікативної компенсації при зміні концентрації вугільного пилу $C_{\Pi} = 500$,

1000 та 3000 мг/м³ і коефіцієнту пропускання інфрачервоного випромінювання запилених лінз відкритого оптичного каналу $T_{\text{прл}}$ 1, 0,2 та 0,5. При перевірці алгоритму нелінійної мультиплікативної компенсації впливу вугільного пилу на результати вимірювання концентрації метану експериментально одержані характеристики перетворення макетного зразка вимірювача [2] при зміні оптичної густини вугільного пилу та концентрації метану.

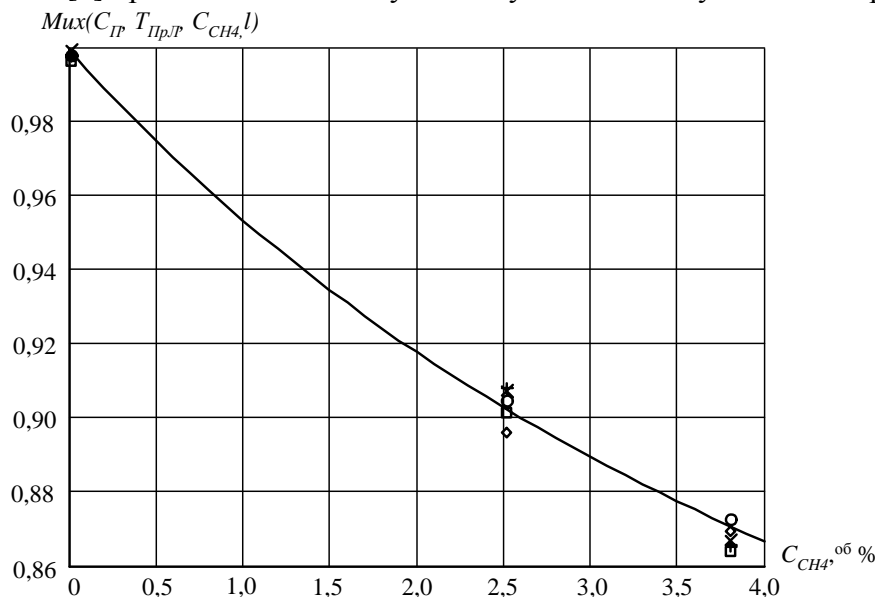


Рисунок 5 – Залежність $Mux(C_{\text{П}}, T_{\text{Прл}}, C_{\text{СН}_4}, l)$ від зміни концентрації метану у діапазоні від 0 до 4^{об.%} при зміні $C_{\text{П}}$ та $T_{\text{Прл}}$

На рисунку 5 наведено експериментальні характеристики перетворення макетного зразка вимірювача, які відповідають різним значенням оптичної густини вугільного пилу та концентрації метану:

– експериментальні значення характеристик перетворення макетного зразка вимірювача при зміні оптичної густини вугільного пилу: × – 100 % (0 г/м³); + – 90 % (158 г/м³); ◇ – 70 % (535 г/м³); □ – 50 % (1039 г/м³); ○ – 30 % (1805 г/м³);

– ——— – результати математичного моделювання роботи алгоритму нелінійної мультиплікативної компенсації вугільного пилу на результат вимірювання концентрації метану.

Характеристика перетворення оптико-електронного блоку одержана при реалізації нелінійної мультиплікативної компенсації впливу вугільного пилу на результати вимірювання концентрації метану, є практично лінійною у діапазоні від 0 до 4^{об.%}, що визначено вимогами до точності стаціонарних метанометрів [1]. При цьому у даному діапазоні концентрацій метану результати не залежать від концентрації вугільного пилу та запиленості лінз відкритого оптичного каналу вимірювача.

Висновки.

1. Розроблено два способи компенсації – лінійна адитивна та нелінійна мультиплікативна компенсації вугільного пилу на результати вимірювання концентрації метану. Одержані алгоритми реалізації цих способів компенсації, їх оцінки на характеристику перетворення вимірювача та встановлені критерії їх застосовності. В якості основного для розробленого вимірювача використовується нелінійний мультиплікативний спосіб компенсації. Даний спосіб забезпечує лінійну характеристику перетворення при вимірюванні об'ємної концентрації метану у діапазоні від 0 до 4^{об.%} та результати вимірювань практично не залежать від концентрації вугільного пилу та запилення лінз відкритого оптичного каналу вимірювача.

2. Розроблений макетний зразок вимірювача концентрації метану пройшов випробування в лабораторіях кафедри електронної техніки Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет», а також у виробничих умовах Державного підприємства «Петровський завод вугільного машинобудування». Макетний зразок показав працездатність та підтвердив технічні показники, які визначають ступінь підвищення пропускну здатності вимірювачів концентрації метану за рахунок використання розроблених методів та засобів. Макетний зразок прийнятий як базовий для розробки дослідного зразка вимірювача концентрації метану у вугільних шахтах Приватною компанією «Дейта Експрес».

Література

1. ГОСТ 24032 – 80. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания. – Введ. 01.01.1981 /Межгосударственный стандарт. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 36 с. – (Угольная промышленность).
2. Вовна О.В. Розробка математичної моделі швидкодіючої вимірювальної системи контролю концентрації метану у вугільних шахтах /О.В. Вовна // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – Донецьк, 2009. – Випуск 16 (147). – С. 194 – 200.
3. Пат. 46197. Україна, МПК G 01 N 21 / 31. Спосіб вимірювання концентрації метану у рудничній атмосфері / О.В. Вовна, А.А. Зорі, В.Д. Коренєв, М.Г. Хламов; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). – № u200906578; заявл. 23.06.2009; опубл. 10.12.2009.
4. Ioffe Physico-Technical Institute [Електронний ресурс] / Mid-IR Diode Optopair Group (MIRDOG). – Електронні дані. – Режим доступу: <http://mirdog.spb.ru>. – Дата доступу: січень 2010. – Загл. з екрану.

Аннотація

Вовна А.В. Разработка метода компенсации угольной пыли для инфракрасного измерителя концентрации метана. Разработан метод компенсации влияния угольной пыли на результаты измерения концентрации метана для инфракрасного оптико-абсорбционного измерителя. Использование разработанного метода в оптических измерителях концентрации метана позволяет эксплуатировать их в условиях высокой запыленности угольных шахт.

Ключевые слова: измеритель, инфракрасный метод, метод компенсации, угольная пыль, концентрация, метан, точность, быстрдействие.

Abstract

Vovna A.V. Developing of the method of compensation of coal dust for the infra-red meter of methane concentration. Method of compensation of influence of coal dust on the results of methane concentration measurements for infra-red optical- absorptive meter is developed. Usage of this method in the optical methane concentration meters allows maintaining them in the conditions of high dustiness of coal mines

Keywords: meter, infra-red method, method of compensation, coal dust, concentration, methane, accuracy, performance.

Здано в редакцію:
03.02.10р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Зорі А.А.