

МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ КОМПЕНСАЦІЇ
ВУГІЛЬНОГО ПИЛУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ
І ТОЧНОСТІ ПРИ ВИМІРЮВАННІ КОНЦЕНТРАЦІЇ
МЕТАНУ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ

О.В. Вовна, А.А. Зорі, М.Г. Хламов
Донецький національний технічний університет
кафедра електронної техніки
Vovna_Alex@ukr.net

Розроблена математична модель методу компенсації вугільного пилу на результат вимірювання концентрації метану, проведено експериментальні дослідження макетного зразка вимірювача, що підтверджує адекватність та ефективність розробленого методу і математичної моделі для підвищення швидкодії вимірювача концентрації метану при необхідній точності вимірювання.

Загальна постановка проблеми. Із зростанням глибини розробок вугілля збільшується газоносність вироблень, температура пластів та вологість порід, зростає частота та інтенсивність газодинамічних проявів, що пов'язано з підвищенням небезпеки при веденні гірничих робіт. В таких умовах особливого значення набувають питання переоснащення вугільних шахт безперервно діючими засобами автоматичного контролю концентрації газових компонент підвищеної швидкодії. Існуючі засоби виміру не забезпечують отримання інформації про процеси зміни концентрації метану з достатньо малими статичними та динамічними похибками. Це обумовлено швидкістю газодинамічних явищ, складністю та специфічністю умов їх протікання, тому вимірювач, що розробляється, повинен бути малоінерційним з широким динамічним діапазоном та нечутливим до впливу основних збурюючих факторів рудничної атмосфери вугільних шахт з жорсткими конструктивними вимогами іскробезпеки.

Розроблена математична модель вимірювального каналу концентрації метану швидкодійного вимірювача з урахуванням впливу основних дестабілізуючих факторів рудничної атмосфери, що дозволить на основі результатів моделювання розробити структуру швидкодійного вимірювача концентрації метану для умов вугільних шахт.

Постановка задачі досліджень. Швидкодійний вимірювач концентрації метану у вугільних шахтах, що розроблюється, який

оснований на оптико-абсорбційному методі вимірювання, повинен забезпечити необхідні показники точності робочого засобу вимірювання, згідно вимог ГОСТ [1]. При аналізі існуючих засобів контролю, що засновані на даному методі вимірювання, та при математичному моделюванні вимірювача концентрації метану [2], було виявлено ряд дестабілізуючих факторів рудничної атмосфери: вугільний пил, наявність супутніх газів та пари води, температура та атмосферний тиск, зміна яких знижує метрологічні характеристики вимірювача. В зв'язку з цим, постає задача розробки математичної моделі вимірювача з урахування впливу вугільного пилу на результат вимірювання концентрації метану та оцінки впливу даного фактору на показники точності вимірювача.

Рішення задачі та результати дослідження. Для підвищення точності засобу вимірювання концентрації метану в умовах запиленості рудничної атмосфери запропонований метод компенсації впливу вугільного пилу на результати вимірювання концентрації метану. В його основу встановлена 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 даного методу компенсації використана наступна модель впливу дестабілізуючих факторів, що призводять до зміни оптичної потужності інфрачервоного випромінювання у відкритому оптичному каналі вимірювача (рис. 1).

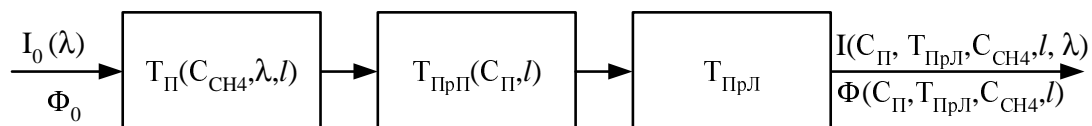


Рис. 1. Фактори, що призводять до зміни оптичної потужності випромінювання у відкритому оптичному каналі вимірювача

В цій моделі вплив інформативного параметра та дестабілізуючого фактору на оптичну потужність інфрачервоного випромінювання Φ_0 представлений у вигляді ланок, що характеризуються коефіцієнтом поглинання $T_{\Pi}(C_{CH_4}, \lambda, l)$ метану, коефіцієнтом пропускання $T_{ПрП}(C_{\Pi}, l)$ пиловим аерозолем та коефіцієнтом пропускання $T_{ПрЛ}$ запилених лінз відкритого оптичного каналу. Для компенсації впливу вугільного пилу на метрологічні характеристики вимірювача концентрації метану, запропоновано використовувати оптоелектронний блок, який складається з двох

просторових відкритих оптичних каналів: основного вимірювального ОК₁ та компенсаційного ОК₂ (рис. 2).

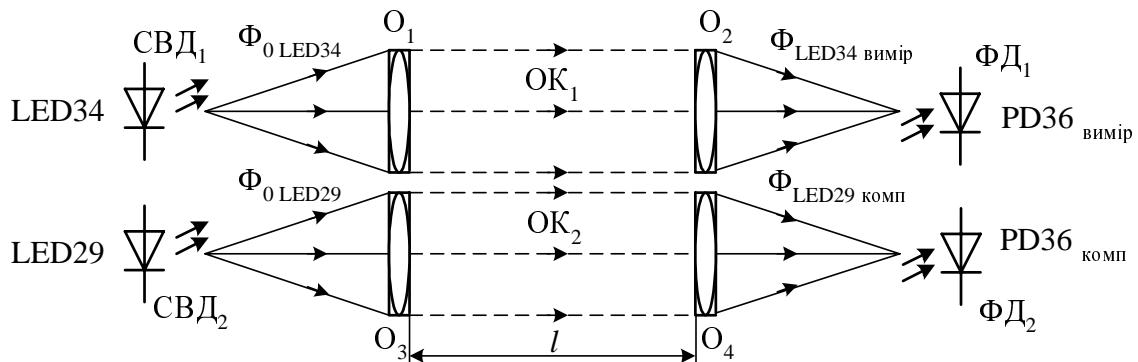


Рис. 2. Схема оптичних каналів швидкодіючого вимірювача концентрації метану у вугільних шахтах

В якості джерела інфрачервоного випромінювання основного вимірювального каналу ОК₁ використовується світловипромінювальний діод LED34 [3] з робочою довжиною хвилі $\lambda_{LED34} = 3,4$ мкм, яка відповідає максимальній інтенсивності спектральних ліній поглинання метану. Для вибору випромінювача компенсаційного каналу ОК₂ були проведені дослідження із застосуванням різних світловипромінювальних діодів. При аналізі спектру поглинання метану [2] було встановлено, що в діапазоні довжин хвиль від 2,2 мкм до 3,1 мкм інтенсивність поглинання метану інфрачервоного випромінювання практично дорівнює нулю. На підставі проведених досліджень запропоновано використовувати в якості випромінювача компенсаційного каналу світловипромінювальний діод LED29 [3] з робочою довжиною хвилі $\lambda_{LED29} = 2,9$ мкм.

Розроблено метод компенсації вугільного пилу для підвищення швидкодії і точності вимірювання концентрації метану у вугільних шахтах. Виконані дослідження по реалізації та застосуванню запропонованого методу з метою використання розробленого двоканального оптоелектронного блоку у вимірювачах концентрації метану. Метод нелінійної мультиплікативної компенсації, що реалізовано у вимірювачі, представлений наступним виразом:

$$\begin{aligned} Mux(C_{\Pi}, T_{\Pi\Pi}, C_{CH4}, l) &= \frac{\Phi_{0LED34} \cdot T_{\Pi}(C_{CH4}, l) \cdot T_{\Pi\Pi}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\Pi\Pi}}{\Phi_{0LED29} \cdot T_{\Pi}(C_{CH4}, l, \lambda_0 = 2,9 \text{ мкм}) \cdot T_{\Pi\Pi}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\Pi\Pi}} = \\ &= \frac{\Phi_{0LED34} \cdot T_{\Pi}(C_{CH4}, l) \cdot T_{\Pi\Pi}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\Pi\Pi}}{\Phi_{0LED29} \cdot 1 \cdot T_{\Pi\Pi}(C_{\Pi}, l) \cdot T_{\Pi\Pi}} = T_{\Pi}(C_{CH4}, l). \end{aligned}$$

При моделюванні мультиплікативної компенсації одержані залежності вихідного сигналу вимірювача $Mux(C_{\text{п}}, T_{\text{прл}}, C_{\text{CH}_4}, l)$ від концентрації метану в діапазоні від 0 до 4^{об}% при довжині вимірювальної бази оптичного каналу $l = 100 \text{ мм}$ та зміні концентрації вугільного пилу (рис. 3.).

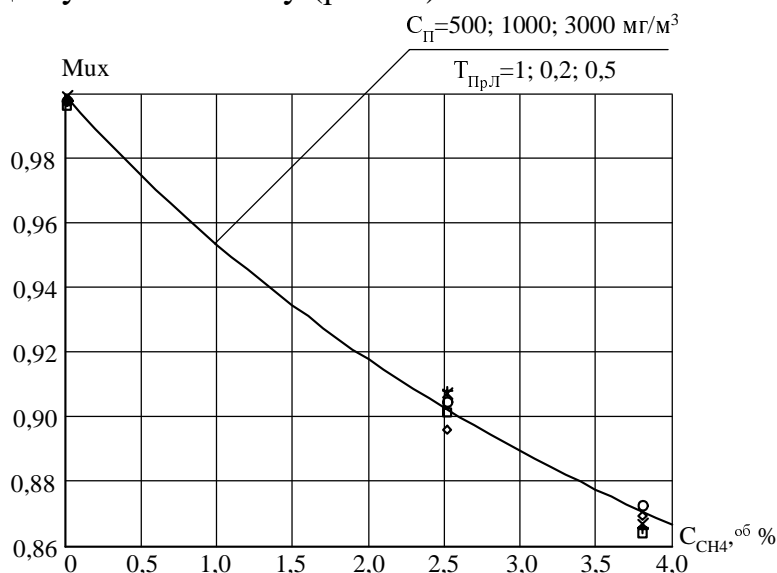


Рис. 3. Залежність $Mux(C_{\text{п}}, T_{\text{прл}}, C_{\text{CH}_4}, l)$ від зміни концентрації метану в діапазоні від 0 до 4^{об}% при зміні $C_{\text{п}}$ та $T_{\text{прл}}$

Для перевірки результатів моделювання методу компенсації впливу вугільного пилу на результати вимірювання концентрації метану проведені дослідження та експериментально отримані характеристики перетворення макетного зразка вимірювача при зміні оптичної щільності вугільного пилу та концентрації метану. На рис. 3. приведені експериментальні характеристики перетворення макетного зразка вимірювача, які відповідають різним значенням оптичної щільності вугільного пилу та концентрації метану, де:

– експериментальні значення характеристик перетворення макетного зразка вимірювача при зміні оптичної щільності вугільного пилу: \times – 100 % (0 г/м³); $+$ – 90 % (158 г/м³); \diamond – 70 % (535 г/м³); \square – 50 % (1039 г/м³); \circ – 30 % (1805 г/м³);

– ———— – результати математичного моделювання роботи метода нелінійної мультиплікативної компенсації вугільного пилу на результат вимірювання концентрації метану при зміні концентрації вугільного пилу $C_{\text{п}}$ 500, 1000 і 3000 мг/м³ та коефіцієнта пропускання інфрачервоного випромінювання запилених лінз

відкритого оптичного каналу $T_{\text{пр.л}}$ 1, 0,2 і 0,5.

Характеристика перетворення оптоелектронного блоку, яка одержана при моделюванні мультиплікативної компенсації впливу вугільного пилу на результати вимірювання концентрації метану, є практично лінійною в діапазоні від 0 до 4^{об}%. При цьому у даному діапазоні концентрацій метану результати практично не залежать від концентрації вугільного пилу та запиленості лінз відкритого оптичного каналу вимірювача, що підтверджує адекватність розробленого методу компенсації та математичної моделі вимірювача.

Висновки.

1. Для підвищення точності засобу вимірювання концентрації метану в умовах запиленості рудничної атмосфери вугільних шахт запропонований метод компенсації впливу вугільного пилу на результати вимірювання концентрації метану, для реалізації якого необхідно у вимірювачі використовувати два просторових відкритих оптичних каналів: основного вимірювального та компенсаційного.

2. Розроблена математична модель методу компенсації вугільного пилу для підвищення швидкодії і точності при вимірюванні концентрації метану у вугільних шахтах.

3. Проведено експериментальні дослідження макетного зразка вимірювача концентрації метану з компенсацією вугільного пилу, що підтверджує адекватність та ефективність запропонованого методу компенсації вугільного пилу на результат вимірювання концентрації метану у вугільних шахтах.

Література

1. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания: ГОСТ 24032 – 80. – [Действующий от 1981-01-01]. – 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. – Вип. 16 (147). – С. 194 – 200.

3. Ioffe Physico-Technical Institute [Електронний ресурс] / Mid-IR Diode Optopair Group (MIRDOG). – Електронні данні. – Режим доступу: <http://mirdog.spb.ru>. – Дата доступу: вересень 2009. – Загл. з екрану.

Отримано 28.05.09