

УДК 532.5:621.384.3

**Р.І. Соломічев (аспірант)**

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк  
кафедра електронної техніки  
E-mail: RomaSolomichev@mail.ru

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОПРОМЕНЕВОГО ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНОГО ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ І ДИСПЕРСНОСТІ ПИЛУ В УМОВАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

*Запропоновано та досліджено математичну модель двопробеневого вимірювача концентрації і дисперсності вугільного пилу, що вимагає в умовах вугільних шахт. Метод, що покладено в основу вимірювача передбачає за рахунок отриманих експериментальних даних про загасання зондуючого випромінювання відновити вид функції розподілення часток пилу за розмірами. Результати математичного моделювання, що використано при розробці макетного зразка вимірювача, перевірені експериментальними дослідженнями, які дали змогу оцінити такі основні метрологічні характеристики вимірювача як чутливість в діапазоні концентрації пилу від 0 до 3 г/м<sup>3</sup>, абсолютну похибку вимірювання та перевірити адекватність отриманої математичної моделі.*

**Ключові слова:** вугільний пил, концентрація, вимірювач, випромінювання, абсорбція, похибка.

### **Загальна постановка проблеми**

Існуючі аспіраційні пробовідбірники не задовольняють сучасним вимогам контролю запиленості атмосфери вугільних шахт за швидкістю, точністю та здатністю проводити вимірювання в автоматичному режимі [1]. Приведені недоліки обумовлюють відсутність у впровадженій сучасній системі безпеки вугільних шахт України УТАС (уніфікована телекомунікаційна система диспетчерського контролю й автоматизованого керування гірничими машинами та технологічними комплексами) датчиків вимірювання концентрації та дисперсності вугільного пилу. Проте, оптико-абсорбційний метод вимірювання концентрації пилу позбавлений вказаних недоліків та на його основі запропоновано вимірювати не тільки концентрацію вугільного пилу, а і дисперсність, за рахунок того, що використовуються декілька світлових потоків з різною довжиною хвилі [2].

### **Постановка задач дослідження**

Метою роботи є розробка та дослідження математичної моделі двопробеневого оптико-абсорбційного вимірювача концентрації і дисперсності вугільного пилу. Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

- розробити та провести дослідження математичної моделі вимірювача, яка враховує змінення концентрації вугільного пилу в діапазоні від 0 до 3 г/м<sup>3</sup> та дисперсністю від 1 до 10 мкм;
- розробити макетний зразок вимірювача та провести лабораторні дослідження для встановлення його метрологічних характеристик;
- оцінити адекватність розробленої математичної моделі вимірювача концентрації і дисперсності вугільного пилу.

### **Результати розробок та дослідження**

Для одночасного вимірювання концентрації та дисперсності зваженого вугільного пилу запропоновано використати двопробеневий спосіб, згідно з яким відношення логарифмів коефіцієнтів пропускання для двох різних довжин хвиль ( $\lambda_1, \lambda_2$ ) зондуючого випромінювання є однозначною функцією середнього об'ємно-поверхневого діаметру ( $D_{32}$ ) часток пилу [3].

На відміну від однопроменевого способу, з яким поточну дисперсність неможливо оцінити, а лише масову частку пилу за загальним загасанням випромінювання, двопробневий спосіб завдяки певному загасанню випромінювання окремої довжини хвилі від певного розміру часток обумовлює отримання необхідної кількості експериментальної інформації для відновлення функції їх розподілу. Функціональна схема двопробневого вимірювача концентрації пилу зображена на рисунку 1.

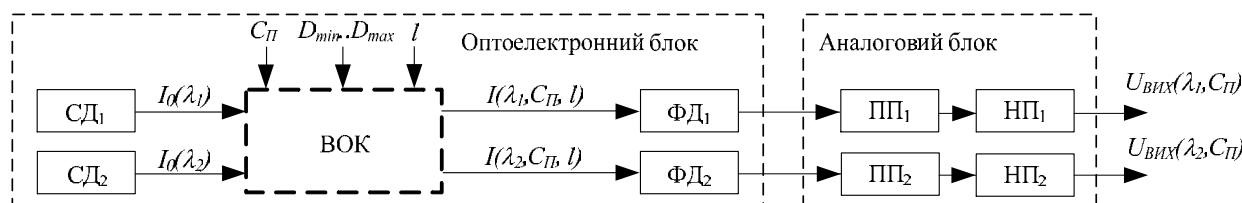


Рисунок 1 – Функціональна схема оптоелектронного блоку

На рис. 1 позначено: СД<sub>i</sub> – світлодіоди з довжиною хвилі λ<sub>i</sub> (i=1,2); ФД<sub>i</sub> – фотодіоди; ПП<sub>i</sub> – попередні підсилювачі, що перетворюють вихідний струм від фотоприймачів у інформативний сигнал напруги  $U_{вих}(\lambda_i, C_{П}, D_{32})$ ; С<sub>П</sub> – масова концентрація пилу; НП<sub>i</sub> – нормуючі підсилювачі, узгоджують вихідний сигнал від ПП<sub>i</sub> із входом аналого-цифрового перетворювача.

Відновлення функції розподілу  $f(D) = [a/D] \cdot \exp(-b \cdot \ln(\beta \cdot D)^2)$  (логарифмічно-нормального) часток пилу за розмірами відбувається за допомогою закону Бугера для полідисперсної системи часток:

$$I(\lambda_i) = I_0(\lambda_i) \cdot \exp \left[ -\frac{\pi \cdot C_N \cdot l}{4} \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} Q(\alpha(\lambda_i), m(\lambda_i)) \cdot D^2 \cdot f(D) dD \right], \quad (1)$$

де  $I_0(\lambda_i)$  – інтенсивність зондуючого випромінювання;

$I(\lambda_i)$  – інтенсивність випромінювання, яке пройшло крізь пиловий аерозоль, рахункова концентрація якого –  $C_N$ ;

$Q(\alpha(\lambda_i), m(\lambda_i))$  – фактор ефективності послаблення (ФЕП) зондуючого випромінювання для різних довжин хвиль, який розраховується на підставі теорії Мі [4], описує фізику взаємодії світлового променя із частками вугільного пилу;

$\alpha(\lambda_i) = \pi \cdot D / \lambda_i$  – безрозмірний параметр дифракції;

$D$  – дисперсність часток пилу;

$m(\lambda_i)$  – комплексний показник переломлення випромінювання;

$l$  – довжина оптичного каналу.

При вирішенні задачі відновлення функції розподілу використовують експериментальну інформацію – коефіцієнти спектральної прозорості  $\tau_{\lambda_i j}^{експ}$ , які залежать від довжини хвилі світлового випромінювання, а саме логарифм відношення початкової інтенсивності випромінювання до інтенсивності, яка пройшла:

$$\tau_{\lambda_i j}^{експ} = \ln \frac{I_0(\lambda_i)}{I(\lambda_i, C_{П}, l)}.$$

Далі знаходиться відношення експериментальних коефіцієнтів спектральної прозорості для двох довжин хвиль ( $\lambda_1, \lambda_2$ ):

$$k_{експ\ j} = \frac{\tau_{\lambda_1}^{експ\ j}}{\tau_{\lambda_2}^{експ\ j}}. \quad (2)$$

Методом циклічного покоординатного спуску задаються параметрами розподілення  $f(D)$  –  $b$ ,  $\beta$  з попередньо встановленого діапазону для імовірної дисперсності пилового аерозолі від  $D_{min}$  до  $D_{max}$ , та вираховується теоретичне відношення коефіцієнтів спектральної прозорості як:

$$k_{теор\ j} = \frac{\tau_{\lambda_1}^{теор\ j}}{\tau_{\lambda_2}^{теор\ j}} = F[Q(\alpha(\lambda_i), m(\lambda_i)), f(D)]. \quad (3)$$

Порівнюючи теоретичне й експериментальне відношення коефіцієнтів спектральної прозорості, досягаються найменшого відхилення  $\Delta_j$  ( $\Delta_j \rightarrow min$ ) за рахунок варіації параметрів  $b$ ,  $\beta$  функції розподілення  $f(D)$ :

$$\Delta_j = |k_{експ\ j} - k_{теор\ j}|.$$

Знайшовши відповідні параметри розподілення, розраховується масова концентрація пилового аерозолі:

$$C_{П} = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^2 \frac{\tau_{\lambda_i}^{експ} \cdot \rho_k \cdot D_{32}}{1,5 \cdot l \cdot \bar{Q}(\lambda_i)},$$

де  $\rho_k$  – щільність вугільного пилу,  $\rho_k = 1,2 \cdot 10^6$  г/м<sup>3</sup>;

$\bar{Q}(\lambda_i)$  – усереднене значення ФЕП випромінювання для полідисперсної середи при  $i$ -ї довжині хвилі.

У вираженні (1) множник

$$\exp\left[-\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot C_N \cdot l \int_{D_{min}}^{D_{max}} Q(\alpha(\lambda_i), m(\lambda_i)) \cdot D^2 \cdot f(D) dD\right] = T(\lambda_i, l, C_{П})$$

є спектральним коефіцієнтом пропускання зондуючого випромінювання крізь пил, що витає. При цьому, пройшовши крізь ВОК потік випромінювання, реєструється фотодіодом:

$$\Phi_{ФД\lambda}(\lambda_i, l, C_{П}) = T_{\lambda}(\lambda_i, l, C_{П}) \cdot K_{ВВ}(l) \cdot \frac{1}{k_{\epsilon\PhiД}(\lambda_i)} \cdot \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S_{0CD}(I_0(\lambda_i)) \cdot s_{ФД}(\lambda) d\lambda, \quad (4)$$

де  $k_{\epsilon}$  – коефіцієнт використання випромінювання оптичною системою;

$S_{0CD}(I_0(\lambda_i))$  – абсолютне значення спектральної щільності потужності випромінювання

СД,  $s_{ФД}(\lambda) d\lambda$  – відносна спектральна чутливість ФД;

$K_{ВВ}(l)$  – коефіцієнт введення світлового випромінювання у вікно ФД в залежності від довжини бази ВОК (від 10 до 15 см) для без коліматорної оптичної системи становить від 0,05 до 0,02 [5, 6].

Вихідний струм ФД<sub>i</sub> в залежності від концентрації пилу ВОК, довжини бази ВОК та від довжини хвилі випромінювання знаходиться як:

$$I_{\Phi Д}(\lambda, l, C_{\Pi}) = \Phi_{\Phi Д}(\lambda, l, C_{\Pi}) \cdot s_{int}, \quad (5)$$

де  $s_{int}$  – інтегральна чутливість фотоприймача, А/Вт.

При аналізі режимів роботи та способів включення фотодіоду було встановлено [5], що оптимальним є фотогоальванічний режим за схемою трансімпедансного підсилювача при перетворенні сигналу інформативного струму з ФД<sub>і</sub> у сигнал напруги попереднім підсилювачем:

$$U_{\Pi\Pi}(\lambda_i, l, C_{\Pi}) = -I_{\Phi Д}(\lambda_i, l, C_{\Pi}) \cdot R_1, \quad (6)$$

де  $R_1$  – опір, на якому перетворюється струм ФД<sub>і</sub> у напругу, обирається в залежності від ємності р-п переходу ФД<sub>і</sub> та становить для обраного ФД не більш  $30 \cdot 10^3$  Ом.

Таким чином, математична модель вимірювача концентрації і дисперсності вугільного пилу базується на тих залежностях, що було отримано вище, а саме: порівнюючи експериментальне з теоретичним значенням відношення коефіцієнтів спектральної прозорості для двох довжин хвиль, циклічно наближуються до їх ідентичності шляхом підбору параметрів функції розподілу часток вугільного пилу, що витають.

Приведення сигналу напруги з виходу ПП<sub>і</sub> до уніфікованого діапазону від 0 до 5 В здійснюється в НП<sub>і</sub>, який треба виконати у вигляді суматора, що не інвертує на основі операційного підсилювача (ОП), у зворотній зв'язок якого включено опір  $R_{O3}$ . Напругою зміщення  $U_{зміщ}$  встановлюється нульовий рівень на виході НП<sub>і</sub>, при  $C_{\Pi} = 0$ :

$$U_{НП}(\lambda_i, l, C_{\Pi}) = \left(1 + \frac{R_{O3}}{R}\right) \cdot (U_{\Pi\Pi}(\lambda_i, l, C_{\Pi}) + U_{зміщ}). \quad (7)$$

Для побудови макетного зразку було обрано оптико-електронні компоненти (СД<sub>і</sub> та ФД<sub>і</sub>) [7], на основі чого було розроблено двопроменевиий вимірювач концентрації та дисперсності вугільного пилу, який включає:

1. Вимірювальні комірки з довжиною відкритого оптичного каналу  $l = 0,135$  м [7]:

– на основі світлодіоду С503В-BAN з довжиною хвилі  $\lambda_1 = 427$  нм та високочутливого фотодіоду ВРW21R із інтегральною чутливістю  $s_{int} = 0,82$  А/Вт [7];

– на основі світлодіоду С503В-RAN з довжиною хвилі  $\lambda_2 = 624$  нм та фотодіоду ВРW21R [7];

2. Аналоговий блок вимірювача концентрації пилу включає:

– драйвер СД<sub>і</sub> з такими параметрами вихідних сигналів:

– прямий струм живлення СД<sub>і</sub> С503В-BAN, С503В-RAN, мА 100;

– напруга живлення світлодіоду С503В-BAN, В 3,5;

– напруга живлення світлодіоду С503В-RAN, В 2,5;

– ПП<sub>і</sub> з напругою на виході при  $C_{\Pi} = 0$  г/м<sup>3</sup>, В –2,9;

– НП<sub>і</sub> з такими параметрами:

– коефіцієнт підсилення за напругою 2,15;

– регулювання зміщення вихідної напруги, В  $\pm 0,3$ ;

3. Двоканальний 10-ти розрядний аналогово-цифровий перетворювач із записом в персональний комп'ютер через USB порт (Arduino UNO).

Лабораторні випробування двопроменевого вимірювача концентрації та дисперсності вугільного пилового аерозолі проходили в науково-дослідницькій лабораторії кафедри електронної техніки ДВНЗ Донецький національний технічний університет за участю хімічної лабораторії Донецької вугільної енергетичної компанії, яка підготувала зразки проб пилу вугілля марки  $h_0^1$  з параметрами:

- зольність  $V^d$ , % більше 15;
- вихід летючих  $A_s$ , % від 40 до 47;
- вологість  $\gamma_B$ , % 16;
- дисперсність часток, мкм від 0,01 до 50.

Встановлено за допомогою мікроскопу ММУ-3 з кратністю об'єктиву 1x317 та ціною ділення шкали окуляру 4,0 мкм, що вміст у пробі пилу часток, які не осідають, дисперсністю від 1 до 6 мкм менш ніж 6 %. Це дає змогу оцінити концентрацію вугільного пилу в розробленій експериментальній камері об'ємом  $V_K = 0,082 \text{ м}^3$  ваговим методом при засипанні проби вугільного пилу вимірної маси для підтвердження результатів вимірювання оптико-абсорбційним методом. Абсолютна похибка вимірювання маси порції пилу не перевищує  $\Delta_m = \pm 10 \text{ мг}$ , тому абсолютна похибка вимірювання концентрації пилу, що витає в експериментальній камері становить:

$$\Delta_{C_{II}} = \frac{\Delta_m \cdot 0,06}{V_K} = \frac{\pm 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0,06}{0,082} = \pm 7,3 \text{ мг/м}^3.$$

Характеристики перетворення вихідних напруг з ПП<sub>1</sub> та НП<sub>1</sub> обох каналів двопробного вимірювача при змінній концентрації пилового аерозолію в експериментальній камері від 0 до 3 г/м<sup>3</sup> з точністю  $\pm 7,3 \text{ мг/м}^3$  представлено на рисунку 2 та на рисунку 3 відповідно, де позначено: + – точки експериментальних значень напруги ПП<sub>1</sub> й НП<sub>1</sub> оптичного каналу із світлодіодом С503В-ВАН; о – точки експериментальних значень напруги ПП<sub>2</sub> й НП<sub>2</sub> оптичного каналу із світлодіодом С503В-РАН; --- та — — апроксимовані теоретичні характеристики залежності (6) й (7) при  $\lambda_1 = 427 \text{ нм}$  та  $\lambda_2 = 624 \text{ нм}$  відповідно.

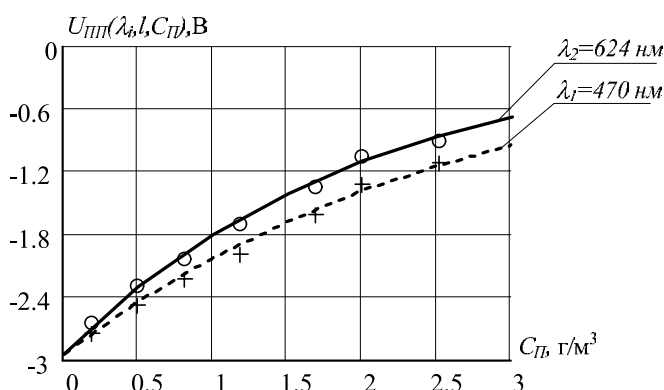


Рисунок 2 – Характеристики перетворення масової концентрації пилу в напругу ПП<sub>1</sub>

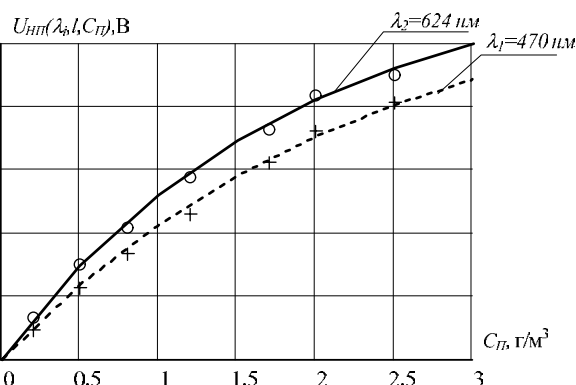


Рисунок 3 – Характеристики перетворення масової концентрації пилу в напругу НП<sub>1</sub>

Усереднена чутливість вимірювання концентрації пилу при діапазоні зміння концентрації від 0 до 3 г/м<sup>3</sup> для двох вимірювальних каналів становить відповідно:

$$S_{C_{II}} \Big|_{\lambda_1} = \frac{\Delta U_{ПП1}}{\Delta C_{II}} = \frac{-0,95 + 2,9}{3 - 0} = 0,65 \text{ В} \cdot \text{м}^3/\text{г},$$

$$S_{C_{II}} \Big|_{\lambda_2} = \frac{\Delta U_{ПП2}}{\Delta C_{II}} = \frac{-0,68 + 2,9}{3 - 0} = 0,74 \text{ В} \cdot \text{м}^3/\text{г}.$$

Оцінка метрологічних характеристик вимірювача зроблена на основі результатів експериментальних досліджень. Встановлено амплітудне значення шумової складової вихідної напруги ПП<sub>1</sub>, яке не перевищує  $\pm 10 \text{ мВ}$ , що з довірчою ймовірністю  $P=0,95$  відповідає середньому квадратичному значенню  $U_{ш} = \pm 10/2 = \pm 5 \text{ мВ}$ . З урахування цього середнє квадратичне значення основної абсолютної похибки результатів вимірювання концентрації пилу (роздільна здатність) в діапазоні від 0 до 3 г/м<sup>3</sup> не перевищує відповідно:

$$\Delta_{C_{II}} \Big|_{\lambda_1} = \frac{U_{ш}}{S_{C_{II}} \Big|_{\lambda_1}} = \frac{\pm 5 \cdot 10^{-3}}{0,65} = \pm 7,7 \text{ мг/м}^3,$$

$$\Delta_{C_{II}} \Big|_{\lambda_2} = \frac{U_{ш}}{S_{C_{II}} \Big|_{\lambda_2}} = \frac{\pm 5 \cdot 10^{-3}}{0,74} = \pm 6,8 \text{ мг/м}^3,$$

що значно менше за абсолютну похибку вимірювання концентрації пилу аспіраційними аналогами вимірювачів у діапазоні вимірювання концентрації пилу від 0 до 3 г/м<sup>3</sup>, яка складає 200 мг/м<sup>3</sup>.

Для побудови функцію розподілення  $f(D)$ , використовуючи запропонований метод циклічного покоординатного спуску та отриману математичну модель, підібрано коефіцієнти функції розподілення  $b$  та  $\beta$ . Для цього, скориставшись експериментальними даними – апроксимованими значеннями напруги з виходу ПП<sub>i</sub>, знайдемо відношення експериментальних коефіцієнтів спектральної прозорості, підставляючи (6) в (2) як

$$k_{експ} = \frac{\tau_{\lambda_1}^{експ}}{\tau_{\lambda_2}^{експ}} = \ln \frac{U_{ПП}(\lambda_1, l, C_{II} = 0)}{U_{ПП}(\lambda_1, l, C_{II})} : \ln \frac{U_{ПП}(\lambda_2, l, C_{II} = 0)}{U_{ПП}(\lambda_2, l, C_{II})} = 0,772.$$

Знаючи теоретичну поведінку залежності ФЕП від довжини хвилі випромінювання [8], встановлено коефіцієнти функції розподілення часток вугільного пилу, що витає за розмірами, яку представлено на рисунку 4:  $b=2,79$  та  $\beta=0,36 \cdot 10^{-6}$  з точністю  $\Delta = |k_{експ} - k_{теор}| = 0,772 - 0,77197 = 2 \cdot 10^{-5}$ :

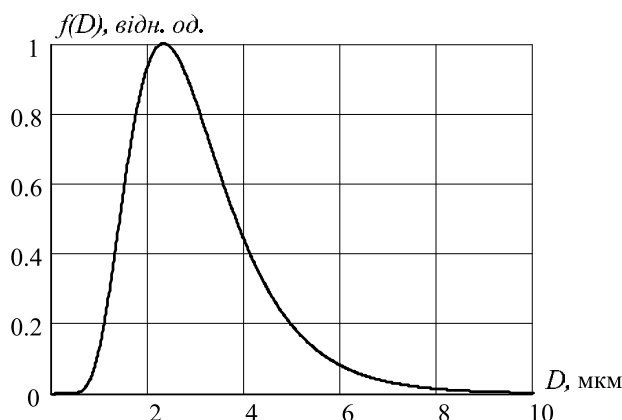


Рисунок 4 – Функція розподілення часток вугільного пилу за розмірами

Наведена точність порядку  $10^{-5}$  є достатньою і оптимальною з точки зору витрат машинного часу контролера цифрової частини вимірювача на підбір цих параметрів розподілення. Час виконання необхідної кількості ітерацій для визначення підсумкової концентрації пилу та параметрів  $b$  та  $\beta$  оцінюється в межах від 0,3 до 1 секунди, що набагато менше за швидкодію стандартизованого аспіраційного вимірювача концентрації пилу, яка складає від 3 минут і більше [9, 10].

### Висновки

1. Вперше запропоновано математичну модель двопроменевого вимірювача концентрації та дисперсності аерозолі вугільного пилу, що базується на порівнянні експериментальної та теоретичної інформації у вигляді відношень коефіцієнтів спектральної прозорості для двох довжин хвиль. Це дало підґрунтя для розробки макетного зразку двопроменевого вимірювача.

2. Проведено експериментальні дослідження в лабораторних умовах розробленого макетного зразку вимірювача концентрації та дисперсності вугільного пилу, що виває, за результатами яких встановлено метрологічні характеристики вимірювача:

– усереднена чутливість за концентрацією вугільного пилу в діапазоні від 0 до 3 г/м<sup>3</sup> для першого каналу (довжина хвилі  $\lambda_1=427$  нм) становить 0,65 В·м<sup>3</sup>/г, а для другого ( $\lambda_2=624$  нм) 0,74 В·м<sup>3</sup>/г;

– амплітудне значення шумової складової вихідних напруг первинних перетворювачів не перевищує  $\pm 10$  мВ, що з довірчою ймовірністю  $P=0,95$  відповідає середньому квадратичному значенню  $\pm 5$  мВ, та значення основної абсолютної похибки результатів вимірювання концентрації пилу в даному діапазоні не перевищує  $\pm 7,7$  мг/м<sup>3</sup> для довжини хвилі зондуючого випромінювання 427 нм та  $\pm 6,8$  мг/м<sup>3</sup> для довжини хвилі 624 нм, що менше за абсолютну похибку вимірювання концентрації пилу аспіраційними пробовідбірниками.

3. Встановлено за результатами експериментальних даних коефіцієнти функції логарифмічно-нормального розподілення часток пилу за розмірами для конкретної проби вугільного пилу ( $b=2,79$  та  $\beta=0,36 \cdot 10^{-6}$ ), що дало змогу побудувати її вид графічно та наглядно продемонструвати дисперсний склад вугільного пилу, що виває. Переважно фракції пилу з дисперсністю від 1 до 6 мкм без осідання витають у повітрі, а більше 6 мкм – поступово з часом осідають.

### Список використаної літератури

1. Соломічев Р.І. Дослідження впливу зміни концентрації компонент пилу газової суміші на поріг вибуховості в умовах вугільних шахт / А.В. Вовна, А.А. Зорі, Р.І. Соломічев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Обчислювальна техніка та автоматизація". Донецьк – 2012. – Випуск № 23(201)'2012. – С. 145 – 152.
2. Соломічев Р.І. Двопроменевий спосіб вимірювання концентрації і дисперсності пилового аерозолі у вугільних шахтах / Р.І. Соломічев // Збірник тез доповідей другої наукової міжнародної конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (ВКДТС–2013), 29-30 жовтня 2013 р. – Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2013. – С. 111–113.
3. Архипов В.А. Аэрозольные системы и их влияние на жизнедеятельность: Учебное пособие / В.А. Архипов, У.М. Шереметьева // Издательство Томского государственного педагогического университета. Томск – 2007. – 136 с.
4. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами / Д. Дейрменджан // М.: Мир, 1971. – 303 с.
5. Соломічев Р.І. Обоснование и разработка требований к оптоэлектронным компонентам макетного образца измерителя концентрации пыли / Р.І. Соломічев // Наукові праці ДонНТУ. Серія : "Обчислювальна техніка та автоматизація". Донецьк – 2013. – Випуск № 2 (25). – С. 261–269.
6. Вовна А.В. Методы и средства аналитического измерения концентрации газовых компонент и пыли в рудничной атмосфере угольных шахт / А.В. Вовна, А.А. Зорі, В.Д. Коренев, М.Г. Хламов // Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 260 с.
7. Соломічев Р.І. Обоснование режима работы фотодиода в схемной реализации аналогового блока измерителя концентрации пыли / Р.І. Соломічев // Збірник наукових праць XIII міжнародної науково-технічної конференції аспірантів і студентів «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих», 14-17 травня 2013 р. – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – С. 357–361.
8. Соломічев Р.І. Разработка математической модели измерителя концентрации угольной пыли в шахте / Р.І. Соломічев // Сборник научных трудов технологического института Южного федерального университета. – Таганрог – 2013. Выпуск № 5. – С. 75 – 80.

9. Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли / А.П. Клименко // М.: «Химия», 1978. – 208 с.
10. Клименко А.П. Непрерывный контроль концентрации пыли / А.П. Клименко, В.И. Королев, В.И. Шевцов // К.: «Техніка», 1980. – 181 с.

### References

1. Solomichev, R.I., Vovna, A.V. and Zori, A.A. (2012), "The impact Investigation of changes in dust concentrations in the gas mixture threshold explosion in terms of coal mines", *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu. Serija: «Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija»*, vol. 23, no. 201, pp. 145–152.
2. Solomichev, R.I. (2013), "Two-beam method of measuring the concentration and dispersion of dust aerosol in coal mines", *Zbirnik tez dopovidey drugoi naukovoi msjnarodnoi konferencii "Vimiruvanya, kontrol' ta diagnostika v tehnicnih sistemah" (VKDTS-2013)*, Vinnitsa, 29-30 October, Edelveys & C, pp. 111–113.
3. Arhipov, V.A. and Sheremat'eva, V.A. (2007), *Ajerozol'nye sistemy i ih vlijanie na zhiznedateljnost'* [Aerosol systems and their impact on livelihoods], Izdatelstvo Tomskogo gosudarstvennogo pedagogičeskogo universiteta, Tomsk, Russia.
4. Deirmendjan, D. (1971), *Scattering of electromagnetic radiation by spherical polydisperse particles*, Mir, Moscow, Russia.
5. Solomichev, R.I. (2013), "Justification and development of requirements for Optoelectronics prototype of dust concentration meter", *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu. Serija: «Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija»*. vol. 2, no. 25, pp. 261–269.
6. Vovna, A.V., Zori, A.A., Korenev, V.D. and Khlamov, M.G. (2012), *Metody i sredstva analiticheskogo izmerenija koncentracii gazovyh komponent i pyli v rudnichnoj atmosfere ugol'nyh shaht* [Analytical Methods and measuring tools of gas components concentration and dust in the coal mine atmosphere], Donetsk national technical university, Donetsk, Ukraine.
7. Solomichev, R.I. (2013), "Justification of the mode photodiode circuit realization of dust concentration meter analog block", *Zbirnik naukovih prac' XIII mijnarodnoi naukovotehnicnoi konferencii aspirantiv I studentiv «Avtomatizacija tehnologichnih ob'ektiv ta procesiv. Poshuk molodih»*, Donetsk, 14-17 May, Donetsk national technical university, pp. 357–361.
8. Solomichev, R.I. (2013), "Development of the coal dust concentration meter mathematical model in coal mine", *Sbornik nauchnih trudov tehnologicheskogo institute Yujnogo federalnogo universiteta*, vol. 5, pp. 75–80.
9. Klimenko, A.P. (1978), *Metody i pribory dlja izmerenija koncentracii pyli* [Methods and devices for measurement the concentration of dust], Himiya, Moscow, Russia.
10. Klimenko, A.P., Korolev, A.P. and Shevcov, V.I. (1980), *Nepreryvnyj kontrol' koncentracii pyli* [Continuous monitoring of dust concentration], Tehnika, Kyiv, Ukraine.

Надійшла в редакцію:  
01.04.2014 р.

Рецензент:  
докт. техн. наук, проф. Зорі А.А.

**Р.И. Соломичев**

**ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»**

**Исследование двухлучевого оптико-абсорбционного измерителя концентрации и дисперсности пыли в условиях угольных шахт. Предложена и исследована математическая модель двухлучевого измерителя концентрации и дисперсности витающей угольной пыли в условиях угольных шахт. Метод, который положено в основу измерителя, предусматривает за счет полученных экспериментальных данных о затухании**



зондирующего излучения восстановить вид функции распределения частиц пыли по размерам. Результаты математического моделирования, использованные при разработке макетного образца измерителя, проверены экспериментальными исследованиями, позволили оценить такие основные метрологические характеристики измерителя как чувствительность в диапазоне концентрации пыли от 0 до 3 г/м<sup>3</sup>, абсолютную погрешность измерения и проверить адекватность полученной математической модели.

**Ключевые слова:** угольная пыль, концентрация, измеритель, излучение, абсорбция, погрешность.

**R.I. Solomichev**

**Donetsk national technical university**

**Investigation of two-beam optical-absorption concentration and dispersion meter of dust in the conditions of coal mines.**

Existing aspiration samplers do not satisfy modern atmospheric dust control requirements in coal mines for speed, accuracy and ability to make measurements automatically. Shown deficiencies causing lack of security introduced in modern Ukraine coal mine system UTAS (unified telecommunication system supervisory control and automated control of mining machinery and technological systems) sensors for concentration and dispersion measuring of coal dust. However, the optical absorption method for concentration measuring of deprived deficiencies and based on it is proposed to measure not only the concentration of coal dust, and dispersion, due to the fact that using multiple light beams of different wavelengths. This paper first proposed a mathematical model of two-beam measuring aerosol concentration and dispersion of coal dust, which is based on a comparison of experimental and theoretical information in a transparent spectral ratios of coefficients for the two wavelengths. This provided the foundation for the development of model standards for two-beam measuring. Experimental studies in vitro model standards developed for the concentration and dispersion measuring of coal dust is present, the results of which established metrological characteristics of the meter: the sensitivity of the concentration of coal dust in the range from 0 to 3 г/м<sup>3</sup> for the first channel (wavelength  $\lambda_1 = 427$  nm) is 0.65 V · м<sup>3</sup> / h, and the second ( $\lambda_2 = 624$  nm) 0.74 V · м<sup>3</sup> / d, the amplitude of the noise component of the preamplifier output voltage does not exceed  $\pm 10$  mV that with confidence probability  $P=0.95$  corresponds to the mean square value of  $\pm 5$  mV, the value of basic absolute error of dust concentration measurement results in this range does not exceed  $\pm 7.7$  mg/м<sup>3</sup> for probing radiation wavelength 427 nm and  $\pm 6,8$  mg/м<sup>3</sup> for wavelength 624 nm. Determined by the results of experimental data function coefficients log-normal distribution of dust particles in size for the sample of coal dust ( $b = 2.79$  and  $\beta = 0.36 \cdot 10^{-6}$ ), which helped to build the kind of graphically and vividly demonstrate the particulate composition coal dust is present. Preferably, the fraction of dust dispersion from 1 to 6 microns without sedimentation are in the air, and over 6 microns – gradually accumulate over time.

**Keywords:** coal dust, concentration, measuring instrument, radiation, absorption, error.



**Соломичев Роман Игоревич**, Украина, закончил Донецкий национальный технический университет, магистр, аспирант кафедры электронной техники. ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – научные основы создания, усовершенствования технических и программных компонент компьютерных систем измерения концентрации составляющих пылегазовых смесей в условиях рудничной атмосферы угольных шахт.