



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 92572

(13) C2

(51) МПК (2009)

G01N 21/31

G01N 21/35 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗІВ

1

(21) а200912500

(22) 03.12.2009

(24) 10.11.2010

(46) 10.11.2010, Бюл.№ 21, 2010 р.

(72) ВОВНА ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ,
ЗОРИ АНАТОЛІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ, КОРЕНСЬ ВА-
ЛЕНТИН ДМИТРОВИЧ, ЛИКОВ ОЛЕКСІЙ ГЕННА-
ДІЙОВИЧ, МОКРИЙ ГЕОРГІЙ ВАСИЛЬОВИЧ,
ХЛАМОВ МИХАЙЛО ГЕОРГІЙОВИЧ(73) ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІ-
ВЕРСИТЕТ

(56) UA 35411U, 10.09.2008

DE 19749891 A1, 20.05.1999

EP 0192013 A2, 27.08.1986

JP 2009192245 A, 27.08.2009

JP 6148072 A, 27.05.1994

JP 60029642 A, 15.02.1985

(57) Спосіб вимірювання концентрації газів, який
включає пропускання інфрачервоного випроміню-
вання, довжину хвилі якого узгоджено із власним
поглинанням аналізованого газу, вимірювання
інтенсивності потоків випромінювання, які пройш-
ли через одну або дві кювети, перетворення вимі-
ряних значень інтенсивності потоків в електричні
сигнали, обробку електричних сигналів та визна-
чення концентрації аналізованого газу, який **відри-
зняється** тим, що досліджувану газову суміш
очищують від пилу шляхом пропускання її через

2

квазівідкритий фільтр до отримання в аналізованій
газовій суміші 3-5 % пилу, після очищення здійс-
нюють вимірювання концентрації аналізованого
газу одним або двома вимірювальними каналами,
при цьому здійснюють компенсацію динамічної
похибки, яка залежить від постійної часу фільтру
та швидкості зміни концентрації аналізованого газу
шляхом використання програмних методів цифро-
вої обробки результатів вимірювань та визначають
концентрацію аналізованого газу за співвідношен-
ням:

$$C_{k+1} = \frac{1}{K_{\text{ПР}}} \cdot \left(U_{k+1} + \tau_{\text{Ф}} \cdot \frac{U_k}{\Delta t} \right),$$

де C_{k+1} , об. % - концентрація аналізованого газу,
 U_{k+1} , U_k , В - дискретні значення вихідного електри-
чного сигналу, зокрема напруги, вимірювального
каналу аналізованого газу або відношення чи різ-
ниці вихідних електричних сигналів вимірюваль-
них каналів у попередній k та наступний $k+1$ мо-
менти часу,

Δt , с - крок дискретизації у часі вихідних електри-
чних сигналів,

$\tau_{\text{Ф}}$, с - постійна часу фільтру очищення аналізо-
ваної газової суміші від пилу,

$K_{\text{ПР}}$, В/об. % - коефіцієнт перетворення вимірюва-
ча із значення концентрації аналізованого газу у
значення електричного сигналу, зокрема напруги.

Винахід відноситься до області аналітичного
вимірювання концентрації газів переважно в умо-
вах високої запыленості аналізованої газової
суміші та може бути використано при розробці
малогабаритних інфрачервоних газоаналізаторів
для вимірювання концентрації найпоширеніших
забруднювачів (CO , CO_2 , CH_4 , NO), які присутні у
складі відпрацьованих газів транспортних засобів,
рудничній атмосфері вугільних шахт та атмосфері
промислових підприємств, енергетичних устано-
вок, а також у системах екологічного моніторингу.

Відомий спосіб вимірювання концентрації газів
інфрачервоним методом (Саль А.О. Инфракрас-

ные газоаналитические измерения: [погрешность и
информационная способность инфракрасных га-
зоанализаторов] /А.О. Саль. М.: Издательство
стандартов, 1971.-100с) заснований на пропускан-
ні інтенсивності потоку інфрачервоного випроміню-
вання із довжиною хвилі, яка відповідає довжині
хвилі власного поглинання газу, вимірювання інте-
нсивності потоків випромінювання, які пройшли
через одну або дві вимірювальні кювети, перетво-
рення виміряних значень інтенсивності потоків в
електричні сигнали, обробку електричних сигналів
та визначення концентрації аналізованого газу.

(13) C2

(11) 92572

(19) UA

Недоліком цього способу є те, що при наявності у досліджуваній газовій суміші пилу та інших домішок збільшується похибка вимірювання концентрації аналізованого газу за рахунок неселективних втрат випромінювання. Ці втрати пов'язані із наявністю зважених часток пилу в аналізованому об'ємі газової суміші, а також забрудненням оптичних елементів вимірювача під час вимірювання. Для забезпечення необхідних показників точності вимірювання концентрації газів використовується фільтр очищення аналізованої газової суміші від пилу та інших домішок. При використанні фільтрів у складі вимірювачів значно знижується швидкодія, і тим самим збільшується динамічна похибка вимірювання концентрації газів. Величина цієї похибки залежить від постійної часу фільтру очищення, а також швидкості зміни вимірюваної величини. Тому даний спосіб не знайшов широкого застосування при розробці швидкодіючих вимірювачів концентрації газів в умовах високої заповненості аналізованої газової суміші.

Найближчим за технічною суттю до способу, що заявляється, є спосіб вимірювання концентрації газів (А.с. України №80638 С2, МПК G 01 N21/61, G 01 N 21/01. опубл. 10.10.2007р.). Суть прототипу полягає у наступному. Для вимірювання концентрації газів пропускають інфрачервоне випромінювання від одного джерела через два незалежні робочі канали вимірювальних кювет. Причому через обидві вимірювальні кювети прокачують аналізований газ. Вимірювання інтенсивності потоків випромінювання, які пройшли через кювети здійснюється шляхом вимірювання приймачами інфрачервоного випромінювання, із попереднім нанесенням на них інтерференційних фільтрів, довжину хвилі яких узгоджено із довжиною хвилі власного поглинання аналізованого газу. Інтенсивність потоків, що пройшли від джерел інфрачервоного випромінювання через два канали, в яких розміщені вимірювальні кювети та за зміною випромінювання визначають концентрацію газу за співвідношенням:

$$C_x = \frac{1}{\alpha \cdot (L_2 - L_1)} \cdot \ln \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2},$$

де C_x - концентрація аналізованого газу; α - коефіцієнт поглинання аналізованого газу, який залежить від ступеня узгодження спектрів поглинання газу, спектральної характеристики джерела інфрачервоного випромінювання та спектральної чутливості приймача інфрачервоного випромінювання; L_1, L_2 -довжина вимірювальних кювет; $\Delta U_1, \Delta U_2$ -значення зміни напруги при попаданні на фотоприймач потоків випромінювання, які пройшли вимірювальні кювети різної довжини L_1, L_2 відповідно.

Загальними ознаками відомого способу вимірювання концентрації газів та способу, який заявляється, є те, що здійснюється пропускання інфрачервоного випромінювання, довжину хвилі якого узгоджено із власним поглинанням аналізованого газу, вимірювання інтенсивності потоків випромінювання, які пройшли через вимірювальні кювети, перетворення значень інтенсивності потоків в еле-

ктричні сигнали, обробку електричних сигналів та визначення концентрації аналізованого газу.

Недоліком цього способу є те, що при розповсюдженні потоку інфрачервоного випромінювання в умовах заповненості аналізованої газової суміші та за наявності інших домішок, здійснюється ослаблення потоку випромінювання внаслідок розсіювання та поглинання частинками пилу інфрачервоного потоку, що збільшує похибку вимірювання концентрації аналізованого газу. Для отримання необхідних показників точності аналізованої газової суміші прокачують через фільтри очищення, що призводить до погіршення динамічних властивостей вимірювача концентрації газів. Вимірювання концентрації газів здійснюється не у реальному масштабі часу, а із затримкою на постійну часу фільтру та технологічних операцій. Для зниження динамічної похибки вимірювання концентрації газу необхідно зменшити постійну часу фільтру, що призводить до зниження його надійності та довготривалої стабільності. Крім того, використання різних фільтрів із меншою постійною часу призводить до появи статичної мультиплікативної похибки вимірювання концентрації газу.

В основу запропонованого винаходу поставлена задача удосконалення способу вимірювання концентрації газу, в якому за рахунок використання фільтрів очищення досягаються необхідні статичні показники точності вимірювання концентрації газу, а для компенсації динамічної похибки використовуються програмні методи цифрової обробки результатів вимірювань. Даний спосіб забезпечує швидкодію вимірювача при необхідній точності контролю концентрації аналізованого газу, що призводить до збільшення вірогідності виявлення та контролю вибухонебезпечних концентрацій при раптових викидах вимірюваних газів.

Поставлена задача вирішується тим, що в спосіб вимірювання концентрації газів, який включає пропускання інфрачервоного випромінювання, довжину хвилі якого узгоджено із власним поглинанням аналізованого газу, вимірювання інтенсивності потоків випромінювання, які пройшли через одну або дві кювети, перетворення вимірюваних значень інтенсивності потоків в електричні сигнали, обробку електричних сигналів та визначення концентрації аналізованого газу, згідно винаходу, що досліджувану газову суміш очищують від пилу шляхом пропускання її через квазівідкритий фільтр до отримання в аналізованій газовій суміші 3 - 5% пилу, після очищення здійснюють вимірювання концентрації аналізованого газу одним або двома вимірювальними каналами, а для компенсації динамічної похибки, яка залежить від постійної часу фільтру та швидкості зміни концентрації аналізованого газу використовують програмні методи цифрової обробки результатів вимірювань, що дозволяє визначити концентрацію аналізованого газу за співвідношенням:

$$C_{k+1} = \frac{1}{K_{\text{ГР}}} \cdot \left(U_{k+1} + \tau_{\text{Ф}} \cdot \frac{U_k}{\Delta t} \right),$$

де C_{k+1} , % - концентрація аналізованого газу; U_{k+1}, U_k, V - дискретні значення вихідного електричного сигналу, наприклад напруги, вимірювального

каналу аналізованого газу або відношення, або різниця вихідних електричних сигналів вимірювальних каналів у попередній k та наступний $k+1$ моменти часу; Δt , c - шаг дискретизації у часі вихідних електричних сигналів; τ_{Φ} , c - постійна часу фільтру очищення аналізованої газової суміші від пилу; $K_{\text{ПР}}$, $V^{0.6}\%$ - коефіцієнт перетворення вимірювача із значення концентрації аналізованого газу у значення електричного сигналу, наприклад напруги.

Для компенсації динамічної похибки вимірювання концентрації аналізованого газу необхідно виконувати обробку результатів вимірювань у часі $C(t)$ за вихідним сигналом $U(t)$ та оператором W , який описує динамічні властивості вимірювача, це є вирішенням задачі корекції його апаратної функції. Найпростіше така задача вирішується реалізацією оператору W^{-1} , який є зворотнім оператором W із використанням ланки корекції в апаратному або програмному вигляді, яка обробляє сигнал $U(t)$. Проте за своєю суттю така задача є некоректною, оскільки зворотний оператор повинен реалізовувати функцію прогнозу сигналу, що фізично реалізувати неможливо. У зв'язку з цим коректне вирішення зворотної задачі при вимірюваннях динамічних параметрів може бути виконано, якщо передбачити певне запізнення у формуванні сигналу на виході ланки корекції, що не вимагає реалізації функції прогнозу.

За умови, що постійна часу фільтру очищення на два та більше порядків перевищує постійну часу інфрачервоного вимірювача концентрації газу, динамічна характеристика вимірювача із фільтром очищення може бути описана передавальною функцією $W(p)$ аперіодичної ланки першого порядку, яка має наступний вигляд:

$$W(p) = \frac{U(p)}{C(p)} = \frac{K_{\text{ПР}}}{1 + p \cdot \tau_{\Phi}},$$

де $K_{\text{ПР}}$, $V^{0.6}\%$ - коефіцієнт перетворення вимірювача із значення концентрації аналізованого газу у значення електричного сигналу, наприклад напруги;

τ_{Φ} , c - постійна часу фільтру очищення аналізованої газової суміші від пилу;

p - оператор Лапласа.

Передавальна функція $W(p)$ встановлює залежність між вихідним сигналом вимірювача $U(t)$ та вхідним сигналом концентрації газу $C(t)$, які доволіно змінюються у часі, через перетворення Лапласа:

$$L\{y(t)\} = W(p) \cdot L\{x(t)\}.$$

Це співвідношення справедливо і для цифрових систем. Вихідна послідовність сигналу вимірювача концентрації газу одержана шляхом зворотного перетворення Лапласа (z - перетворення):

$$U(z) = K_{\text{ПР}} \cdot C(z) - \tau_{\Phi} \cdot z^{-1} \cdot U(z).$$

При використанні опису ланки затримки z^{-1} у дискретній області $U_k = U_{k-1}$ одержана рекурентна формула для розрахунку вихідної послідовності сигналу вимірювача концентрації газу у дискретні моменти часу:

$$U_{k+1} = K_{\text{ПР}} \cdot C_{k+1} - \tau_{\Phi} \cdot \frac{U_k}{\Delta t}$$

Передавальна функція ланки корекції приймає наступний вигляд:

$$W^{-1}(p) = \frac{C(p)}{U(p)} = \frac{1}{K_{\text{ПР}}} \cdot (p \cdot \tau_{\Phi} + 1)$$

Таким чином, ланка корекції повинна реалізовувати функцію диференціювання вихідного сигналу вимірювача концентрації газу $U(t)$ та складання його похідної із самим вихідним сигналом. Різницею рівняння ланки корекції у дискретні моменти часу має наступний вигляд:

$$C_{k+1} = \frac{1}{K_{\text{ПР}}} \cdot \left(U_{k+1} + \tau_{\Phi} \cdot \frac{U_k}{\Delta t} \right),$$

Розглянемо проходження через описану передавальну характеристику вимірювача концентрації газу із ланкою корекції випадкового стаціонарного сигналу, який розподілено за нормальним законом розподілу, та має наступні параметри: математичне очікування зміни концентрації газу $m_c = 2,0^{0.6}\%$, середньоквадратичне відхилення $\sigma_c = 0,4^{0.6}\%$, довжина вибірки $N = 50$.

На Фіг.1 наведено графіки зміни концентрації аналізованого газу $C,^{0.6}\%$ - 1 та зміни вихідного сигналу вимірювача концентрації аналізованого газу $U_{k+1} \cdot \frac{1}{K_{\text{ПР}}}$, $^{0.6}\%$ -2 при постійній часу фільтру очищення $\tau_{\Phi} = 0,8c$, шагу дискретизації за часом $\Delta t = 1c$ та коефіцієнту передачі вимірювача концентрації аналізованого газу $K_{\text{ПР}} = 0,1V^{0.6}\%$.

На Фіг.2 наведено графіки зміни концентрації аналізованого газу $C,^{0.6}\%$ -1 та зміни концентрації аналізованого газу із компенсацією динамічної похибки $C_{\text{КОМП}},^{0.6}\%$ - 3 при використанні програмних методів цифрової обробки результатів вимірювань.

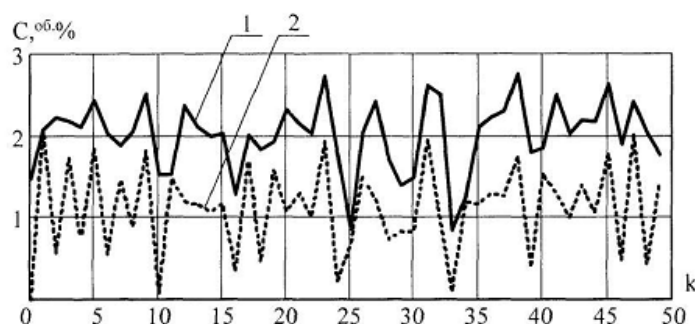
Використання компенсації динамічної похибки за допомогою програмних методів цифрової обробки результатів дозволяє виконувати вимірювання концентрації аналізованого газу у реальному масштабі часу.

Приклад реалізації способу вимірювання концентрації газу.

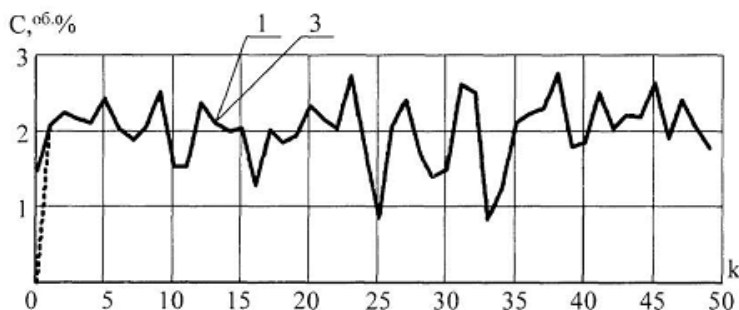
Досліджувану газову суміш очищують від пилу шляхом пропускання її через квазівідкритий фільтр до отримання в аналізованій газовій суміші 3-5% пилу. Одночасно пропускають потоки інфрачервоного випромінювання від одного або двох джерел, через одну або дві вимірювальні кювети. Потоки інфрачервоного випромінювання, які несуть інформацію про зміну концентрації аналізованого газу у газовій суміші із урахуванням часу запізнення фільтру очищення, поступають на приймачі, які перетворюють інтенсивність потоків випромінювання в електричні сигнали. Одержані електричні сигнали перетворюють у цифровий код для реалізації програмного методу цифрової обробки результатів вимірювання. Здійснюється збереження дискретного значення вихідної напруги U_k або відношення, або різниці вихідних напруг вимірювальних каналів у момент часу k , далі у наступний мо-

мент часу $k+1$ через інтервал часу Δt процедура вимірювання повторюється та після цього здійснюється розрахунок концентрації аналізованого газу у момент часу $k+1$. Описана процедура повторюється циклічно протягом усього інтервалу роботи вимірювача концентрації газу. Дані про концентрацію аналізованого газу у суміші із урахуванням корекції динамічної похибки вимірювання виводять на індикатор та по цифровому каналу зв'язку передають у систему аерогазового захисту вугільної шахти або підприємства.

Запропонований спосіб дозволяє підвищити швидкість вимірювачів концентрації газів при необхідній точності контролю, за рахунок використання фільтрів очищення досягаються необхідні статичні показники точності вимірювання концентрації газу, а для компенсації динамічної похибки, використовуються програмні методи цифрової обробки результатів вимірювання. Використання цього способу у стаціонарних вимірювачах концентрації газів дозволяє збільшити вірогідність виявлення та контролю вибухонебезпечних концентрацій при раптових викидах вимірюваних газів.



Фіг. 1



Фіг. 2