



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 106440

(13) C2

(51) МПК

G01N 21/3504 (2014.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

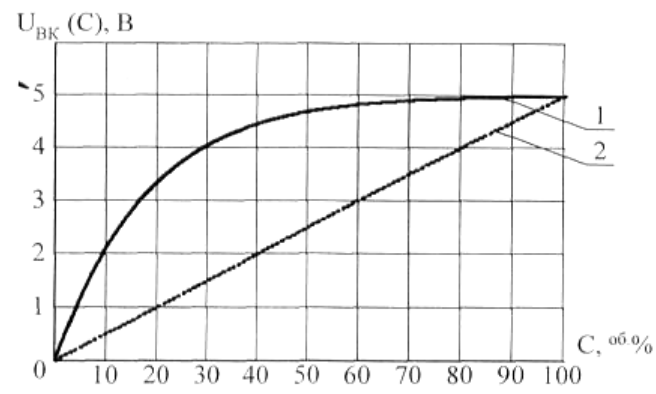
(21) Номер заявки:	а 2013 03664	(72) Винахідник(и):	Вовна Олександр Володимирович (UA), Зорі Анатолій Анатолійович (UA), Коренєв Валентин Дмитрович (UA), Хламов Михайло Георгійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	26.03.2013	(73) Власник(и):	ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83001 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	26.08.2014	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	UA 55625 U; 27.12.2010 UA 50772 U; 25.06.2010 UA 89708 A; 25.02.2010 UA 80037 C2; 10.08.2007 RU 2037808 C1; 19.06.1995 CN 202512055 U; 02.03.2012 GB 1509808 A; 04.05.1978 JP 11304705; 05.11.1999
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.06.2014, Бюл.№ 11		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	26.08.2014, Бюл.№ 16		

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗІВ

(57) Реферат:

Винахід належить до області газового аналізу із використанням інфрачервоного оптико-абсорбційного методу контролю концентрації газів. Спосіб вимірювання концентрації газів включає пропускання оптичного випромінювання, довжину хвилі якого узгоджено з власним поглинанням аналізованого газу, вимірювання інтенсивностей випромінювання, що пройшли через одну або дві кювети, перетворення зміряних значень інтенсивностей в електричні сигнали, обробку електричних сигналів і визначення концентрації аналізованого газу. Визначають концентрацію аналізованого газу для кожного вимірювального каналу в двох діапазонах вимірювань. В першому діапазоні при значеннях концентрації газу від 0 до 44^{об.}% використовують безпосередньо характеристики перетворення вимірювача. У другому діапазоні зміни концентрації газу від 44 до 100^{об.}% виконують лінеаризацію характеристики перетворення вимірювача при використанні її зворотної функції програмними методами цифрової обробки результатів вимірювань. Запропонований спосіб дозволяє підвищити точність вимірювачів в діапазоні високих концентрацій газів практично в 18 разів при необхідних значеннях швидкодії та метрологічної надійності, а також забезпечує можливість безперервного контролю концентрації небезпечних газів в атмосфері робочої зони підприємств в умовах підвищеної токсичності й вибухонебезпечності газових компонент.

UA 106440 C2



Фиг. 1

Винахід належить до області газового аналізу із використанням інфрачервоного оптико-абсорбційного методу контролю концентрації газів. Винахід може бути використано для визначення концентрації токсичних і вибухонебезпечних газів у повітрі, компонентів газових сумішей у технологічних процесах промислових підприємств та інших цілей.

Відомий спосіб вимірювання концентрації газів інфрачервоним методом (Саль А.О. Инфракрасные газоаналитические измерения: [погрешность и информационная способность инфракрасных газоанализаторов] /А.О. Саль. М.: Издательство стандартов, 1971. - 100 с.) заснований на пропусканні інтенсивності інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі, яка відповідає довжині хвилі власного поглинання газу, вимірювання інтенсивностей випромінювання, що пройшли через одну або дві вимірювальні кювети, перетворення зміряних значень інтенсивностей в електричні сигнали, обробку електричних сигналів та визначення концентрації аналізованого газу.

Недоліком даного способу є те, що при вимірювальному контролі високих концентрацій газу, через нелінійність характеристики перетворення вимірювача, істотно знижується чутливість його вихідного сигналу до зміни контрольованого параметру - концентрації газу. Чутливість вимірювача за вихідною напругою складає не менш $0,25 \text{ В/}^{об. \%}$ у діапазоні малих концентрацій газу від 0 до $4^{об. \%}$, що цілком задовольняє технічним умовам для даних вимірювачів. У діапазоні ж високих концентрацій від 60 до $100^{об. \%}$, її величина знижується до $4,1 \text{ мВ/}^{об. \%}$ та стає сумірною з рівнем власних шумів вихідної напруги вимірювального перетворювача, що призводить до збільшення відносної похибки вимірювань від 0,5 до 9 % із зростанням концентрації газу до $100^{об. \%}$. Тому, даний спосіб без необхідного врахування та компенсації нелінійності характеристики перетворення не може бути використаний при вимірювальному контролі високих концентрацій газу з необхідними показниками точності й метрологічної надійності.

Найближчим за технічною суттю до способу, що заявляється, є спосіб вимірювання концентрації газів (UA патент № 92572 C2, МПК G 01 N 21/35, опубл. 10.11.2010 р.). Суть прототипу полягає в наступному. Для вимірювання концентрації газу здійснюється пропускання інфрачервоного випромінювання, довжину хвилі якого узгоджено з власним поглинанням аналізованого газу, вимірювання інтенсивностей потоків випромінювання, які пройшли через одну або дві кювети, перетворення зміряних значень інтенсивностей потоків в електричні сигнали, обробку сигналів та визначення концентрації аналізованого газу. При цьому здійснюється компенсація динамічної похибки шляхом використання програмних методів цифрової обробки результатів вимірювань, що дозволяє визначати концентрацію аналізованого газу з необхідною високою швидкістю.

Загальними ознаками відомого способу вимірювання концентрації газу та способу, що заявляється, є: пропускання потоку оптичного випромінювання від одного або двох джерел, через одну або дві кювети, перетворення зміряних інтенсивностей оптичного випромінювання в електричні сигнали, обробку електричних сигналів і визначення концентрації аналізованого газу.

При використанні відомого способу вимірювання концентрації газів досягається висока швидкодія при необхідних показниках точності в діапазоні малих концентрацій газу (від 0 до $44^{об. \%}$), при цьому величина відносної похибки вимірювання становить $(0,5 \div 1) \%$. При збільшенні концентрації газу від 44 до $100^{об. \%}$ величина відносної похибки, яку обумовлено нелінійністю характеристики перетворення, збільшується до 9 %, що перевищує необхідні метрологічні характеристики вимірювача.

В основу запропонованого винаходу поставлена задача удосконалення способу вимірювання концентрації газів, в якому за рахунок використання лінеаризації характеристики вимірювача, яку помножують на її зворотну функцію програмними методами цифрової обробки результатів вимірювань, досягаються необхідні метрологічні характеристики. Даний спосіб забезпечує необхідну точність вимірювань високих концентрацій газів при необхідній високій швидкодії й надійності, що призводить до зменшення вірогідності виникнення вибухонебезпечних ситуацій при потужних раптових викидах газу. Поставлена задача розв'язується так, що у способі вимірювання концентрації газів, який включає пропускання оптичного випромінювання, довжину хвилі якого узгоджено з власним поглинанням аналізованого газу, вимірювання інтенсивностей випромінювання, що пройшли через одну або дві кювети, перетворення зміряних значень інтенсивностей в електричні сигнали, обробку електричних сигналів і визначення концентрації аналізованого газу, згідно з винаходом, що визначають концентрацію аналізованого газу для кожного вимірювального каналу в двох діапазонах вимірювань, в першому діапазоні при значеннях концентрації газу від 0 до $44^{об. \%}$ використовують безпосередньо характеристику перетворення вимірювача, яка описана співвідношенням:

$$U_{BK}(C) = \Delta U_{BK} \cdot (1 - \exp(-k \cdot C)),$$

де $U_{BK}(C)$ - залежність вихідної напруги вимірювального каналу від концентрації газу, В; С - концентрація аналізованого газу, об.%; ΔU_{BK} - діапазон зміни вихідної напруги вимірювального каналу, В; k - масштабний коефіцієнт характеристики перетворення вимірювача за концентрацією газу, (об.%)⁻¹; \exp - експонента, у другому діапазоні зміни концентрації газу від 44 до 100 об.% виконують лінеаризацію характеристики перетворення вимірювача при використанні її зворотної функції програмними методами цифрової обробки результатів вимірювань і використовують наступне співвідношення:

$$U_{BK}^{ЛН}(C) = S \cdot \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{\Delta U_{BK}}{\Delta U_{BK} - U_{BK}(C)} = S \cdot \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{\Delta U_{BK}}{\Delta U_{BK} - \Delta U_{BK} \cdot (1 - \exp(-k \cdot C))} = S \cdot C,$$

де $U_{BK}^{ЛН}(C)$ - залежність вихідної напруги вимірювального каналу від вимірюваної концентрації газу після лінеаризації характеристики перетворення, В; S - чутливість вимірювального каналу при лінеаризації характеристики перетворення, В/об.%; \ln - натуральний логарифм.

В основу запропонованого способу встановлена наступна ідея: підвищення чутливості вимірювального контролю концентрації газів можливе за рахунок лінеаризації характеристики перетворення. Ця задача є зворотною по відновленню вхідного сигналу концентрації газу за відомою інформацією про апаратну функцію вимірювального перетворювача. Зазвичай ця задача вирішується реалізацією зворотної функції до характеристики перетворення з використанням ланки корекції в програмному вигляді.

Використання оптичних кювет дозволяє забезпечити необхідну швидкодію при вимірюванні концентрації газів, а визначення концентрації аналізованого газу для кожного вимірювального каналу в двох діапазонах вимірювань дозволяє одержати необхідні показники точності як в діапазоні малих концентрацій газу від 0 до 44 об.% безпосередньо за характеристикою перетворення, так і в діапазоні високих концентрацій газу від 44 до 100 об.% при лінеаризації характеристики перетворення вимірювача, яку помножують на її зворотну функцію програмними методами цифрової обробки результатів вимірювань. Без використання лінеаризації характеристики перетворення вимірювача в діапазоні вимірювань від 44 до 100 об.% визначення концентрації аналізованого газу здійснюється з відносною похибкою вимірювань від 1 до 9 %. При визначенні концентрації газу за характеристикою перетворення після її лінеаризації величина відносної похибки зменшується від 0,5 до 0,2 % у даному діапазоні вимірювань.

При розробці вимірювачів на основі запропонованого способу величина відносної похибки вимірювань концентрації газу, яку обумовлено нелінійністю характеристики перетворення, складає не більш 0,5 % у діапазоні високих концентрацій, що в 18 раз менше ніж при визначенні концентрації газу безпосередньо за характеристикою перетворення вимірювача.

На фіг. 1 наведено залежність вихідної напруги вимірювального каналу $U_{BK}(C)$ від зміни концентрації газу (С) у діапазоні від 0 до 100 об.%, де 1 - характеристика перетворення вимірювача; 2 - характеристика перетворення вимірювача після лінеаризації, яку одержано при використанні її зворотної функції.

На фіг. 2 наведено залежність зміни величини абсолютної похибки вимірювань концентрації газу $\Delta(C)$ від його зміни в діапазоні від 0 до 100 об.% при визначенні концентрації, де 1 - безпосередньо за характеристикою перетворення вимірювача; 2 - за характеристикою перетворення вимірювача після її лінеаризації.

На фіг. 3 наведено залежність зміни величини відносної похибки вимірювань концентрації газу $\delta(C)$ від її зміни в діапазоні від 0 до 100 об.% при визначенні концентрації, де 1 - безпосередньо за характеристикою перетворення вимірювача; 2 - за характеристикою перетворення після її лінеаризації; C_1 - верхня (нижня) межа діапазону малих (великих) концентрацій газу відповідно, об.%, при якій величина відносної похибки вимірювань концентрації мінімальна, при цьому її величина складає від 30 до 60 об.%, яку приймають залежно від необхідної точності вимірювань.

Приклад реалізації способу вимірювання концентрації газів.

Пропускають оптичне випромінювання, довжину хвилі якого узгоджено з власним поглинанням аналізованого газу, вимірюють інтенсивність випромінювання, яке пройшло через одну або дві кювети. Перетворюють зміряні значення інтенсивності в електричні сигнали,

обробляють електричні сигнали та визначають концентрацію аналізованого газу за вихідною напругою вимірювального каналу $U_{BK}(C)$, величина якої пропорційна вимірюваній концентрації газу C . Наприклад, на фіг. 1 наведено характеристику перетворення вимірювального каналу $U_{BK}(C)$ в діапазоні зміни вихідної напруги від 0 до 5 В з масштабним коефіцієнтом характеристики перетворення вимірювача за концентрацією газу $k=0,055 \text{ (}^{\circ}\text{.}\% \text{)}^{-1}$, діапазон вимірювань концентрації газу складає від 0 до $100^{\circ}\text{.}\%$. Визначають концентрацію аналізованого газу для кожного вимірювального каналу в двох діапазонах вимірювань, для цього виконують аналіз зміряного значення напруги:

Якщо зміряне значення напруги знаходиться в діапазоні від 0 до 4,56 В, який відповідає першому діапазону вимірювань концентрації газу від 0 до $44^{\circ}\text{.}\%$. У даному діапазоні розраховують значення вимірюваної концентрації безпосередньо за характеристикою перетворення вимірювального каналу (див. фіг. 1, положення 1) за наступним співвідношенням:

$$C = \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{\Delta U_{BK}}{\Delta U_{BK} - U_{BK}(C)}.$$

При цьому величина абсолютної похибки вимірювань концентрації газу $\Delta(C)$ від його зміни в даному діапазоні концентрацій збільшується від 0,04 до $0,4^{\circ}\text{.}\%$ (див. фіг. 2, положення 1), а відносна похибка вимірювань не перевищує 0,5 % (див. фіг. 3, положення 1).

Якщо зміряне значення напруги знаходиться в діапазоні від 4,57 до 5 В, що відповідає другому діапазону вимірювань концентрації газу від 44 до $100^{\circ}\text{.}\%$. Зміряне значення напруги $U_{BK}(C)$ розраховують через зворотну функцію характеристики перетворення за наступним співвідношенням:

$$U_{BK}^{ЛН}(C) = S \cdot \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{\Delta U_{BK}}{\Delta U_{BK} - U_{BK}(C)} = S \cdot \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{\Delta U_{BK}}{\Delta U_{BK} - \Delta U_{BK} \cdot (1 - \exp(-k \cdot C))} = S \cdot C,$$

та визначають безпосередньо вимірювану концентрацію газу (див. фіг. 1, положення 2) за співвідношенням:

$$C = \frac{1}{S} \cdot U_{BK}^{ЛН}(C).$$

При цьому величина абсолютної похибки вимірювань концентрації газу $\Delta(C)$ від його зміни у всьому діапазоні концентрацій (від 0 до $100^{\circ}\text{.}\%$) залишається незмінною та складає $0,2^{\circ}\text{.}\%$ (див. фіг. 2, положення 2), а відносна похибка вимірювання зменшується від 0,5 до 0,2 % (див. фіг. 3, положення 2).

З аналізу одержаних результатів (див. фіг. 3) виходить, що відносна похибка вимірювань концентрації газу при її визначенні безпосередньо за характеристикою перетворення збільшується до 9 % із збільшенням концентрації газу до $100^{\circ}\text{.}\%$. При використанні ж даного способу вимірювання в діапазоні великих концентрацій газів від 44 до $100^{\circ}\text{.}\%$ відносна похибка вимірювань складає не більш 0,5 %.

Запропонований спосіб дозволяє підвищити точність вимірювачів в діапазоні високих концентрацій газів практично в 18 разів при необхідних значеннях швидкодії та метрологічної надійності. Застосування даного способу дозволить безперервно контролювати концентрацію небезпечних газів в атмосфері робочої зони підприємств в умовах підвищеної токсичності й вибухонебезпечності газових компонент.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб вимірювання концентрації газів, який включає пропускання оптичного випромінювання, довжину хвилі якого узгоджено з власним поглинанням аналізованого газу, вимірювання інтенсивностей випромінювання, що пройшли через одну або дві кювети, перетворення зміряних значень інтенсивностей в електричні сигнали, обробку електричних сигналів і визначення концентрації аналізованого газу, який **відрізняється** тим, що визначають концентрацію аналізованого газу для кожного вимірювального каналу в двох діапазонах вимірювань, в першому діапазоні при значеннях концентрації газу від 0 до $44^{\circ}\text{.}\%$ використовують безпосередньо характеристику перетворення вимірювача, яка описана співвідношенням:

$$U_{BK}(C) = \Delta U_{BK} \cdot (1 - \exp(-k \cdot C)),$$

де $U_{BK}(C)$ - залежність вихідної напруги вимірювального каналу від концентрації газу, В; C - концентрація аналізованого газу, $\text{об.}\%$; ΔU_{BK} - діапазон зміни вихідної напруги вимірювального каналу, В; k - масштабний коефіцієнт характеристики перетворення вимірювача за концентрацією газу, ($\text{об.}\%$); \exp - експонента,

- 5 у другому діапазоні зміни концентрації газу від 44 до 100 $\text{об.}\%$ виконують лінеаризацію характеристики перетворення вимірювача при використанні її зворотної функції програмними методами цифрової обробки результатів вимірювань, і використовують наступне співвідношення:

$$U_{BK}^{ЛН}(C) = S \cdot \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{\Delta U_{BK}}{\Delta U_{BK} - U_{BK}(C)} = S \cdot \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{\Delta U_{BK}}{\Delta U_{BK} - \Delta U_{BK} \cdot (1 - \exp(-k \cdot C))} = S \cdot C,$$

- 10 де $U_{BK}^{ЛН}(C)$ - залежність вихідної напруги вимірювального каналу від вимірюваної концентрації газу після лінеаризації характеристики перетворення, В; S - чутливість вимірювального каналу при лінеаризації характеристики перетворення, В/ $\text{об.}\%$; \ln - натуральний логарифм.

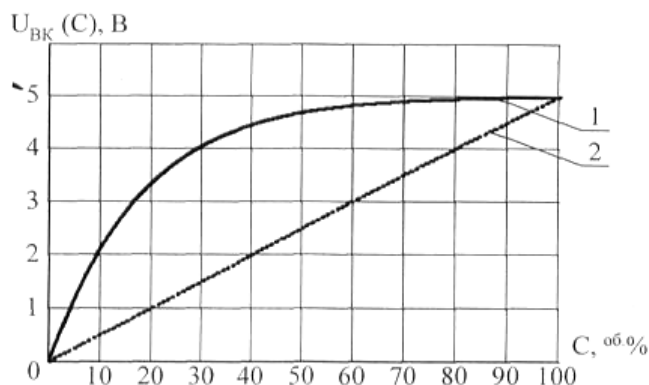


Fig. 1

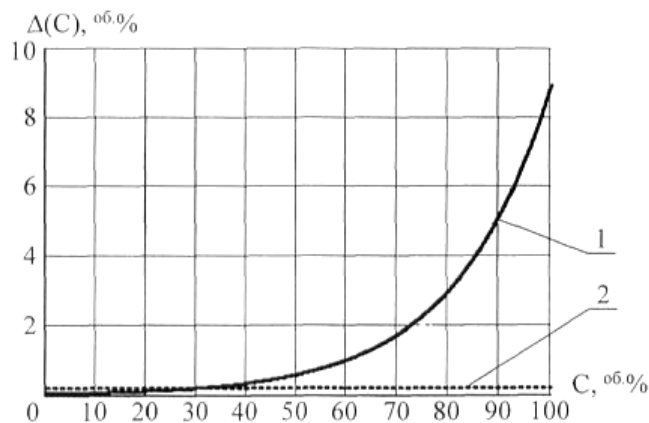
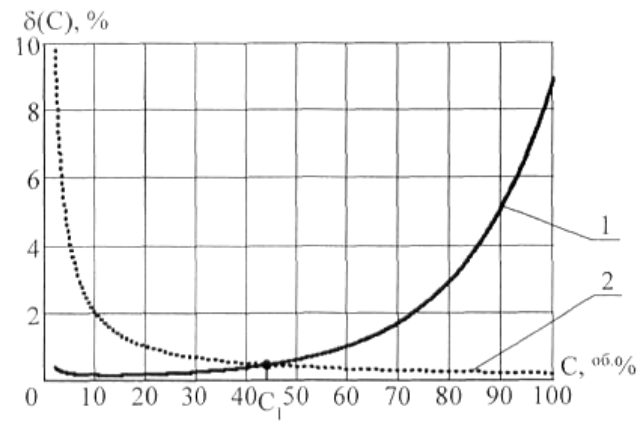


Fig. 2



Фиг. 3

Комп'ютерна верстка І. Мироненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601