



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 82534

(13) U

(51) МПК

G01N 21/35 (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2013 04754**

(22) Дата подання заявки: **15.04.2013**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **12.08.2013**

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **12.08.2013, Бюл.№ 15**

(72) Винахідник(и):

**Вовна Олександр Володимирович (UA),  
Зорі Анатолій Анатолійович (UA),  
Коренєв Валентин Дмитрович (UA),  
Хламов Михайло Георгійович (UA)**

(73) Власник(и):

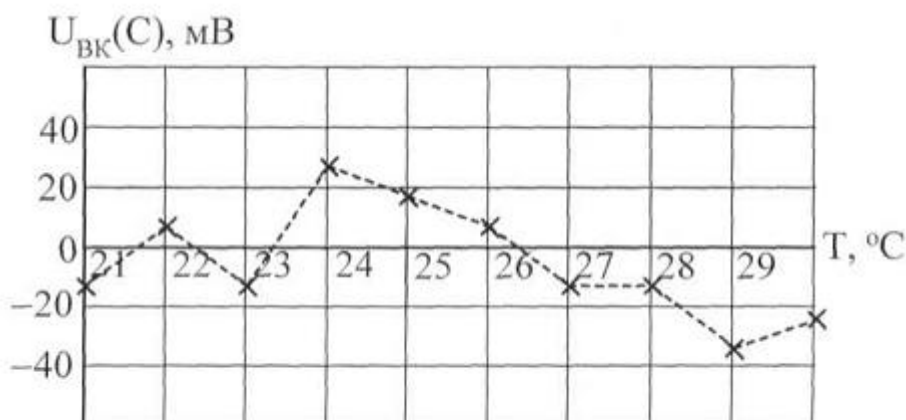
**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ  
ЗАКЛАД ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,  
вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83001 (UA)**

## (54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗІВ

### (57) Реферат:

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. Контролюють напругу світлодіода при живленні його струмом, потім одержаний сигнал напруги, величина якого пропорційна зміні температури, приводять до рівня вихідного сигналу перетворювача інтенсивності потоку оптичного випромінювання в постійну напругу, значення якої залежить як від концентрації вимірюваного газу, так і від зміни температури, після чого одержані два сигнали напруги віднімають один від іншого та масштабують до рівня, що необхідний для цифрової обробки результатів вимірювань, за співвідношенням:

$$U_{BK}(C) = k_3 \cdot (k_2 \cdot U_{CD}(T) - k_1 \cdot (U_{BP}(C, T) + U_{3C})).$$



Фіг. 3

UA 82534 U



Корисна модель належить до області газового аналізу із використанням інфрачервоного оптико-абсорбційного методу контролю концентрації газів. Корисна модель може бути використана 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 інтенсивності в електричні сигнали, обробку електричних сигналів та визначення концентрації аналізованого газу.

Недоліком даного способу є те, що при зміні температури, як одного з основних дестабілізуючих факторів, що істотно впливають на результати вимірювання концентрації газу, збільшується їх додаткова адитивна складова похибки. Згідно з технічними вимогам до даних вимірювачів, величина додаткової абсолютної похибки, яку обумовлено зміною цього дестабілізуючого фактора, не повинна перевищувати подвоєного значення основної абсолютної похибки. Але зміна температури призводить до збільшення додаткової адитивної похибки результатів вимірювань концентрації досліджуваного газу практично на порядок і більше. Тому даний спосіб без необхідного врахування й компенсації впливу зміни температури не може бути використаний при розробці вимірювача концентрації газів з необхідними показниками точності й метрологічної надійності.

Найближчим за технічною суттю до способу, що заявляється, є спосіб вимірювання концентрації газів (UA патент № 92572 С2, МПК G 01 N21/35, 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.

Загальними ознаками відомого способу вимірювання концентрації газу і 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 швидкість вимірювача при необхідних метрологічних характеристиках. Підвищення точності можливо за рахунок вимірювального контролю та компенсації впливу зміни температури на результат вимірювань концентрації газу. Один з найпростіших і результативніших способів компенсації впливу температури є спосіб, який засновано на використанні додаткового компенсаційного каналу. Вихідний сигнал цього каналу містить тільки інформацію про зміну дестабілізуючого фактора, що компенсується, - температури. Вихідні сигнали вимірювального і компенсаційного каналів надходять на диференціальну схему з подальшим відніманням та масштабуванням одержаної інформації про вимірювану концентрацію газу. При схемотехнічній реалізації даного способу одержано, що додаткова похибка від зміни температури не перевищує  $\pm 0,2$  об. %, що в 2 рази менше, ніж вимоги до даного вимірювача. Проте використання цього способу істотно збільшує як складність схемотехнічного рішення, так і вартість вимірювального перетворювача, практично удвічі. Крім того, розкид характеристик і параметрів оптоелектронних компонент вимірювача від впливу температури істотно залежить від конкретного діода в партії, що не дозволяє одержати ефективну температурну компенсацію у виробничих умовах.

Другий спосіб компенсації температури полягає у введенні термочутливого елемента в схему вимірювача. Інформація про зміну температури перетворюється в електричний сигнал з подальшим масштабуванням та відніманням його з сигналу основного вимірювального каналу за диференціальною схемою. Реалізація цього способу також ускладнена через істотний розкид характеристик оптоелектронних компонент вимірювача, а також з труднощами подальшого підбору необхідних температурних коефіцієнтів компенсаційного каналу, що також вимагає індивідуального градуювання вимірювача за температурою.

В основу запропонованої корисної моделі поставлена задача удосконалення способу вимірювання концентрації газів, в якому за рахунок використання компенсації температурного дрейфу вихідного сигналу вимірювача досягаються необхідні метрологічні характеристики. Даний спосіб забезпечує необхідну точність вимірювань концентрації газів при високій швидкодії й метрологічній надійності, що призводить до зменшення вірогідності виникнення вибухонебезпечних ситуацій при 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 корисної моделі, що контролюють напругу світлодіода при живленні його струмом, потім одержаний сигнал напруги, величина якого пропорційна зміні температури, приводять до рівня вихідного сигналу перетворювача інтенсивності потоку оптичного випромінювання в постійну напругу, значення якої залежить як від концентрації вимірюваного газу, так і від зміни температури, після чого одержані два сигнали напруги віднімають один від іншого та масштабують до рівня, що необхідний для цифрової обробки результатів вимірювань, за співвідношенням:

$$U_{BK}(C) = k_3 \cdot (k_2 \cdot U_{CD}(T) - k_1 \cdot (U_{BP}(C, T) + U_{3C})),$$

де  $C$  - концентрація аналізованого газу,  $\text{об. \%}$ ;  $T$  - температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $U_{BK}(T)$  - вихідна напруга вимірювального каналу від вимірюваної концентрації газу,  $V$ ;  $U_{CD}(T)$  - напруга світлодіода при живленні його струмом від зміни температури,  $V$ ;  $U_{BP}(C, T)$  - вихідна напруга вимірювального перетворювача від вимірюваної концентрації газу й температури,  $V$ ;  $U_{3C}$  - напруга зсуву, яка виключає адитивну складову похибки результатів вимірювань концентрації газу й температури,  $V$ ;  $k_1$ ,  $k_2$  - масштабні коефіцієнти, які виключають мультиплікативну складову похибки результатів вимірювань концентрації газу й температури;  $k_3$  - масштабний коефіцієнт, який приводить характеристику перетворення вимірювача до необхідного рівня вихідного сигналу вимірювального каналу.

В основу запропонованого способу встановлена наступна ідея: як термочутливий елемент використовується один із оптоелектронних компонентів вимірювача. При цьому компенсація температурного дрейфу буде найрезультативнішою та не вимагатиме індивідуального градування за температурою кожного вимірювального каналу окремо. Основний внесок в температурну нестабільність вихідного сигналу вимірювача вносить температурний дрейф світлодіода. Зміна характеристик і параметрів фотодіода від температури вносить істотно менший внесок в загальну температурну нестабільність вихідного сигналу вимірювального каналу, оскільки фотодіод експлуатується у фотогальванічному режимі включення. Відмітною особливістю роботи фотодіода в цьому режимі є істотно менша залежність його струму від зміни температури. Температурний дрейф аналогових мікросхем вимірювача також незначний у порівнянні з дрейфом напруги світлодіода.

Використання оптичних кювет дозволяє забезпечити необхідну швидкодію при вимірюванні концентрації газів, а вимірювального контролю напруги світлодіода та компенсації його температурного дрейфу дозволяє забезпечити необхідні показники точності при вимірюванні концентрації газу. Так чутливість вихідної напруги вимірювача при зміні температури ( $S_t = 0,57 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$ ) сумірна з чутливістю вимірювача до вимірюваного параметру - концентрації газу ( $S_C = 0,51 \text{ V}/\text{об. \%}$ ). Згідно з метрологічними вимогами до стаціонарних метанометрів для системи газового захисту вугільних шахт величина додаткової абсолютної похибки вимірювань концентрації метану від зміни температури в діапазоні від  $+5$  до  $+35^{\circ}\text{C}$  ( $20 \pm 15$ ) $^{\circ}\text{C}$  не повинна перевищувати  $\pm 0,4 \text{ об. \%}$  (подвоєного значення основної абсолютної похибки). Вважаючи, що додаткова абсолютна похибка вимірювань концентрації метану, яку обумовлено зміною температури, є лінійною функцією температури, то зміна додаткової похибки на  $1^{\circ}\text{C}$  не повинне перевищувати:

$$\Delta S_t^{\text{необх}} = \frac{\Delta_{CH4}^0}{\Delta t} = \frac{\pm 0,4}{15} = \pm 0,027 \frac{\text{об. \%}}{^{\circ}\text{C}},$$

де  $\Delta S_t^{\text{необх}}$  - необхідна зміна додаткової абсолютної похибки вимірювання концентрації метану на  $1^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta_{CH4}^0$  - додаткова абсолютна похибка вимірювання концентрації метану від

зміни температури в діапазоні від +5 до +35 °C (20±15)°C;  $\Delta t$  - зміна температури щодо нормальних умов експлуатації вимірювача концентрації метану, °C.

Значення зміни додаткової абсолютної похибки вимірювань концентрації метану для вимірювача за результатами лабораторних випробувань склало:

$$\Delta S_t^{\text{експ}} = \frac{S_t}{S_C} = \frac{\pm 0,57}{0,51} = \pm 1,12 \frac{\text{об.}\%}{^\circ\text{C}},$$

де  $\Delta S_t^{\text{експ}}$  - експериментально визначена величина зміни додаткової абсолютної похибки вимірювань концентрації газу на 1 °C;  $S_t$  - чутливість вихідної напруги вимірювача при зміні температури, В/°C;  $S_C$  - чутливість вихідної напруги вимірювача при вимірюванні концентрації газу, В/об. %.

Одержаний результат перевищує в 42 рази необхідну величину. При цьому додаткова абсолютна похибка вимірювань концентрації газу від зміни температури складає  $\pm 16,6$  об. %. Тому вимірювання концентрації метану даним вимірювачем можливе тільки при обліку та компенсації зміни температури.

При розробці вимірювачів на основі запропонованого способу величина додаткової похибки вимірювань концентрації метану, яку обумовлено зміною температури, складає не більш  $\pm 0,1$  об. %, що в 4 рази менше, ніж вимоги до вимірювачів концентрації метану, та повністю задовольняє поставленим технічним вимогам.

На фіг. 1 наведено залежність вихідного сигналу перетворювача інтенсивності потоку оптичного випромінювання в постійну напругу  $U_{\text{ВП}}(C, T)$  від зміни концентрації метану в діапазоні від 0 до 4 об. % і температури в діапазоні від +21 до +30 °C, де  $\times$  - результати експериментальних даних; \_\_\_\_\_ - результати кусково-лінійної апроксимації зміни напруги від температури.

На фіг. 2 наведено залежність напруги, величина якої пропорційна в  $k_2=25$  раз напрузі світлодіода  $U_{\text{СД}}(T)$  від зміни температури в діапазоні від +21 до +30 °C, де  $\times$  - результати експериментальних даних; \_\_\_\_\_ - результати кусково-лінійної апроксимації зміни напруги від температури.

На фіг. 3 наведено залежність вихідної напруги вимірювального каналу  $U_{\text{БК}}(C)$  концентрації газу з компенсацією температури при постійній концентрації метану ( $C = 0$  об. %), де  $\times$  - результати експериментальних даних, ----- - кусково-лінійна апроксимація результатів експериментальних даних.

Приклад реалізації способу вимірювання концентрації газів.

Одночасно виконують вимірювання вихідного сигналу перетворювача інтенсивності потоку оптичного випромінювання в постійну напругу  $U_{\text{ВП}}(C, T)$  і напруги світлодіода  $U_{\text{СД}}(T)$  при живленні його струмом. Зміна напруги світлодіода від зміни температури складає мінус  $(1,3 \pm 0,2)$  мВ/°C. Отриманий компенсаційний сигнал  $U_{\text{СД}}(T)$  заздалегідь підсилюється в  $k_2=25$  раз (див. фіг. 2) до рівня вихідного інформаційного сигналу напруги  $U_{\text{СД}}(T)$  перетворювача інтенсивності потоку оптичного випромінювання (див. фіг. 1), який несе інформацію як про зміну концентрації газу, так і про температурний дрейф. Вихідний сигнал перетворювача  $U_{\text{ВП}}(C, T)$  при цьому підсумовується з напругою зсуву  $U_{\text{ЗС}}$ , діапазон зміни якої регулюється від 2 до 3 В, для усунення адитивної складової похибки результатів вимірювань. Після цього одержаний сигнал підсилюється  $(U_{\text{ВП}}(C, T) + U_{\text{ЗС}})$  в  $k_1$  раз для усунення мультиплікативної складової похибки результатів вимірювань. Одержані сигнали напруги  $k_1 \cdot (U_{\text{ВП}}(C, T) + U_{\text{ЗС}})$  і  $k_2 \cdot U_{\text{СД}}(T)$  віднімаються один від іншого, після цього результат підсилюється в  $k_3$  раз до необхідного рівня вихідного сигналу вимірювального каналу. На фіг. 3 наведено залежність вихідної напруги вимірювального каналу  $U_{\text{БК}}(C)$  концентрації метану з компенсацією температури при постійній концентрації метану ( $C = 0$  об. %).

З аналізу одержаних експериментальних даних (див. фіг. 3) виходить, що максимальне значення амплітуди вихідного сигналу від зміни температури не перевищує  $\pm 40$  мВ. При цьому величина додаткової похибки вимірювань концентрації газу, яку обумовлено зміною температури складає не більш  $\pm 0,1$  об. %, що в 4 рази менше, ніж за вимогами до даних типів вимірювачів, та повністю задовольняє їх умовам експлуатації.

Запропонований спосіб дозволяє підвищити метрологічні показники вимірювачів концентрації газів практично в 4 рази 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 та вибухонебезпечності газових компонент газів.

5

# ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

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 змінних значень інтенсивностей в електричні сигнали, обробку електричних сигналів і визначення концентрації аналізованого газу, який **відрізняється** тим, що контролюють напругу світлодіода при живленні його струмом, потім одержаний сигнал напруги, величина якого пропорційна зміні температури, приводять до рівня вихідного сигналу перетворювача інтенсивності потоку оптичного випромінювання в постійну напругу, значення якої залежить як від концентрації вимірюваного газу, так і від зміни температури, після чого одержані два сигнали напруги віднімають один від іншого та масштабують до рівня, що необхідний для цифрової обробки результатів вимірювань, за співвідношенням:

$$U_{BK}(C) = k_3 \cdot (k_2 \cdot U_{CD}(T) - k_1 \cdot (U_{BP}(C, T) + U_{3C})),$$

де  $C$  - концентрація аналізованого газу, об.%;  $T$  - температура, °C;  $U_{BK}(T)$  - вихідна напруга вимірювального каналу від вимірюваної концентрації газу, В;  $U_{CD}(T)$  - напруга світлодіода при живленні його струмом від зміни температури, В;  $U_{BP}(C, T)$  - вихідна напруга вимірювального перетворювача від вимірюваної концентрації газу й температури, В;  $U_{3C}$  - напруга зсуву, яка виключає адитивну складову похибки результатів вимірювань концентрації газу й температури, В;  $k_1$ ,  $k_2$  - масштабні коефіцієнти, які виключають мультиплікативну складову похибки результатів вимірювань концентрації газу й температури;  $k_3$  - масштабний коефіцієнт, який приводить характеристику перетворення вимірювача до необхідного рівня вихідного сигналу вимірювального каналу.

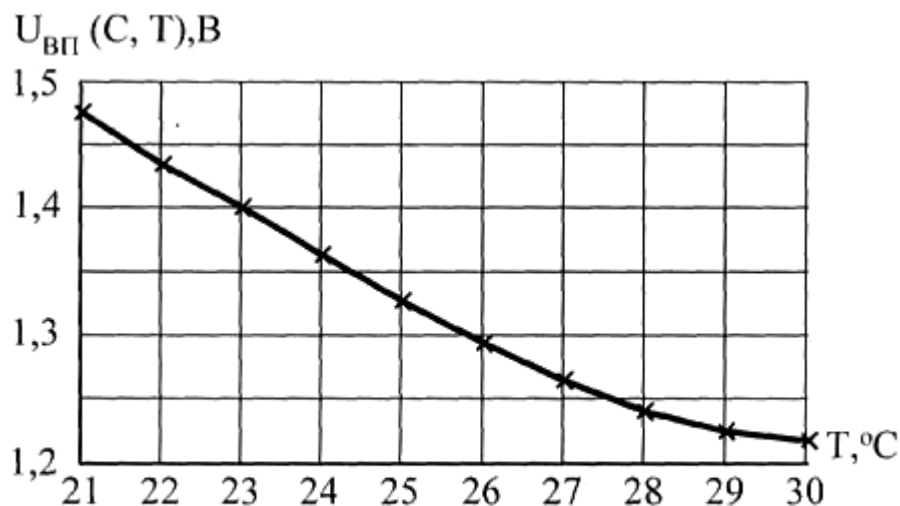
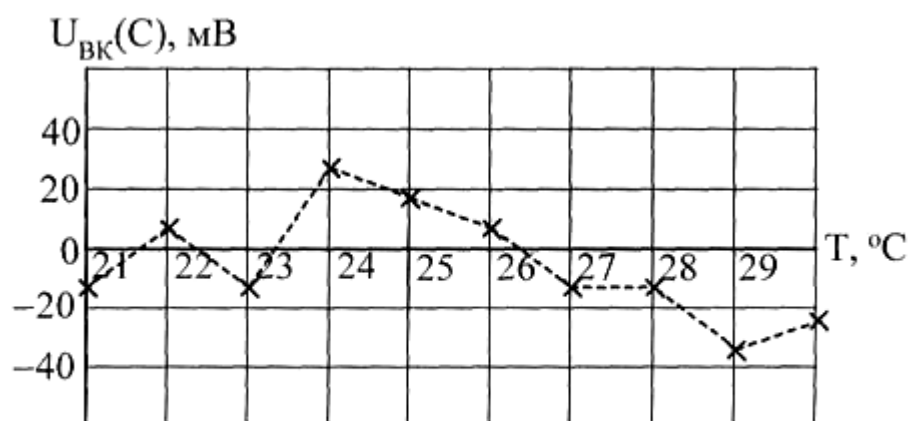


Fig. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

---

Комп'ютерна верстка М. Мацело

---

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