



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 96382

(13) U

(51) МПК

G01N 21/35 (2014.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2014 06163**

(22) Дата подання заявки: **04.06.2014**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **10.02.2015**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.02.2015, Бюл.№ 3**

(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 інтенсивності випромінювання, які пройшли через одну або дві кювети, перетворення зміряних значень інтенсивності в електричні сигнали. Здійснюють вимірювання напруг на відповідних світлодіодах при живленні їх струмом, приведення напруги кожного світлодіода до рівнів вихідних сигналів відповідних перетворювачів потоків випромінювання, віднімання приведених напруг на світлодіодах від вихідних напруг перетворювачів потоків випромінювання, масштабування різниці напруг, обробку електричних сигналів та визначення концентрації аналізованого газу. Заздалегідь настроюють вимірювач концентрації газів шляхом визначення масивів відношення вихідних напруг перетворювачів потоків випромінювання до приведених напруг на відповідних світлодіодах. Дані масиви відношення, які залежать від напруг на світлодіодах, записують до обчислювального блока. Перед обробкою електричних сигналів додатково вимірюють приведені напруги на відповідних світлодіодах. При цьому передають результати вимірювань до обчислювального блока, де за цими результатами розраховують значення коефіцієнтів, потім коефіцієнти множать на зміряні значення напруг і результати складають з масштабними різницями напруг для кожного з вимірювальних каналів.

UA 96382 U

Корисна модель належить до області газового аналізу з використанням інфрачервоного оптико-абсорбційного методу контролю концентрації газів. Корисна модель може бути використана для визначення концентрації токсичних і вибухонебезпечних газів в повітрі, компонентів газових сумішей в технологічних процесах промислових підприємств та інших

цільей.

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 інтенсивності випромінювання, які 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 дестабілізуючого фактора, збільшується додаткова адитивна складова похибки результатів вимірювань концентрації газу. Згідно з технічними вимогами до даних вимірювачів, величина додаткової абсолютної похибки, яка обумовлена зміною цього дестабілізуючого фактору, не повинна перевищувати подвоєного значення основної абсолютної похибки. Проте зміна температури призводить до збільшення додаткової адитивної похибки результатів вимірювань концентрації досліджуваного газу практично більш ніж на порядок. Тому даний спосіб без урахування та компенсації впливу зміни температури не може бути використаний при розробці вимірювачів концентрації газів з необхідними показниками точності та метрологічної надійності.

Найближчим аналогом є спосіб вимірювання концентрації газів (UA патент № 82534 U, МПК G 01 N 21/35, опубл. 12.08.2013 г.). Суть найближчого аналога полягає в наступному. Для вимірювання концентрації газу здійснюється пропускання оптичного випромінювання, довжину хвилі якого узгоджено з власним поглинанням аналізованого газу, вимірювання інтенсивності випромінювання, які пройшли через одну або дві кювети, перетворення зміряних значень інтенсивності в електричні сигнали. Додатково контролюється напруга на світлодіоді при живленні його струмом, потім отриманий сигнал напруги, величина якого пропорційна зміні температури, приводять до рівня вихідного сигналу перетворювача інтенсивності потоку оптичного випромінювання в постійну напругу, значення якого залежить як від концентрації вимірюваного газу, так і від зміни температури. Після цього отримані два сигнали напруг віднімають один від іншого та масштабуються до рівня, який необхідний для цифрової обробки результатів вимірювань. Потім обробляють електричні сигнали та визначають концентрацію аналізованого газу.

Загальними ознаками відомого способу вимірювання концентрації газу і способу, що заявляється, є: пропускання оптичного випромінювання, довжина хвилі якого узгоджена з власним поглинанням аналізованого газу, вимірювання інтенсивності випромінювання, які пройшли через одну або дві кювети, перетворення зміряних значень інтенсивності в електричні сигнали, вимірювання напруг на відповідних світлодіодах при живленні їх струмом, приведення напруг кожного світлодіода до рівнів вихідних сигналів відповідних перетворювачів потоків випромінювання, віднімання один від іншого приведених напруг на світлодіодах від вихідних напруг перетворювачів потоків випромінювання, масштабування різниці напруг, обробку електричних сигналів і визначення концентрації аналізованого газу.

При використанні відомого способу вимірювання концентрації газів досягається висока швидкодія вимірювача при необхідних метрологічних характеристиках. Підвищення точності можливе за рахунок вимірювального контролю та компенсації зміни температури на результат вимірювань концентрації газу. Реалізація відомого способу вимірювання концентрації газу дозволяє виконувати компенсацію в обмеженому діапазоні температур, наприклад від +20 до +35 °С. Причиною температурного дрейфу вимірювача концентрації газів є зміна інтенсивності оптичного випромінювання світлодіода від зміни температури. При цьому температурну залежність інтенсивності випромінювання світлодіодів в розширеному (робочому) діапазоні температур, наприклад від +20 до +35 °С, вимірювача концентрації газів описується феноменологічним рівнянням:

$$I(T) = I(T_0) \cdot \exp\left(-\frac{T - 300K}{T_1}\right),$$

де $I(T)$ - інтенсивність випромінювання світлодіода від зміни температури; $I(T_0)$ - інтенсивність випромінювання світлодіода при температурі $T_0 = 300$ K; T_1 - характеристична температура конкретного світлодіода; \exp - експонента.

Для компенсації зміни інтенсивності випромінювання світлодіода від температури у відомому способі використовується напруга на світлодіоді, величина якої практично лінійно залежить від температури, та описується рівнянням:

$$U_{LED}(T) = U_{OLED} + k_{LED} \cdot T,$$

- 5 де $U_{LED}(T)$ - напруга на світлодіоді від зміни температури, В; U_{OLED} - адитивна складова напруги на світлодіоді, величина якої залежить від конкретного типу світлодіода, В; k_{LED} - чутливість напруги на світлодіоді від зміни температури, В/°С.

- В обмеженому діапазоні температур, наприклад від +20 до +35 °С, можливо приведення одна до одної даних характеристик за допомогою масштабного множника та адитивного зсуву. При виконанні даної апаратної компенсації в обмеженому температурному діапазоні величина додаткової похибки від зміни температури не перевищує меж основної похибки результатів вимірювань. При експлуатації ж вимірювачів концентрації газів в розширеному (робочому) діапазоні температур, наприклад, від +5 до +35 °С або (20±15)°С, характеристики інтенсивності випромінювання і напруги на світлодіоді від температури істотно відрізняються одна від іншої, що збільшує похибку вимірювання концентрації газу. Так при використанні відомого способу вимірювання концентрації газів в розширеному (робочому) діапазоні температур від +5 до +35 °С величина додаткової абсолютної похибки вимірювання концентрації газу перевищує в (6÷7) разів необхідне значення. Це призводить до виникнення помилкових спрацьовувань вимірювача, тим самим до відключення та зупинки технологічного процесу на промислових підприємствах.

- Одним з відомих способів додаткової компенсації температурного дрейфу, який використовується разом з відомим способом вимірювання концентрації газу (UA патент № 82534 U, МПК G 01 N21/35, опубл. 12.08.2013 г.), є введення додатково каналу вимірювання температури. Інформація про зміну температури поступає на обчислювальний блок, в який заздалегідь занесені характеристики перетворення вихідних напруг вимірювальних каналів від температури. За результатами вимірювань температури розраховуються поправочні значення, які віднімаються з результатів вимірювань вихідних напруг вимірювальних каналів. Проте при реалізації даного способу за рахунок різних постійних часу нагріву оптико-електронних компонент вимірювача та первинного перетворювача температури виникає додаткова динамічна похибка вимірювань, яка обумовлена зміною температури. Для компенсації цієї похибки вибирають первинний вимірювальний перетворювач температури так, щоб його постійна часу дорівнювала постійній часу нагріву оптико-електронних компонент вимірювача. Інакше, якщо постійна часу первинного вимірювального перетворювача температури набагато менше постійної часу нагріву оптико-електронних компонент вимірювача, зміряє значення температури може відрізнятися на (2-3) °С від істинного. При цьому виникає додаткова динамічна похибка вимірювань концентрації газу, яка повинна бути врахована при настройці вимірювальних каналів від зміни температури. Все це ускладнює настройку та експлуатацію вимірювача концентрації газу.

- В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу вимірювання концентрації газів, в якому за рахунок використання апаратно-програмної компенсації температурного дрейфу вихідного сигналу вимірювача досягаються необхідні метрологічні характеристики. Даний спосіб забезпечує необхідну точність вимірювань концентрації газів при високій швидкодії та метрологічній надійності, що призводить до зменшення вірогідності виникнення вибухонебезпечних ситуацій при раптових викидах газу.

- Поставлена задача вирішується так, що у способі вимірювання концентрації газів, який включає пропускання оптичного випромінювання, довжину хвилі якого узгоджено з власним поглинанням аналізованого газу, вимірювання інтенсивності випромінювання, які пройшли через одну або дві кювети, перетворення зміряних значень інтенсивності в електричні сигнали, вимірювання напруг на відповідних світлодіодах при живленні їх струмом, приведення напруги кожного світлодіода до рівнів вихідних сигналів відповідних перетворювачів потоків випромінювання, віднімання приведених напруг на світлодіодах від вихідних напруг перетворювачів потоків випромінювання, масштабування різниці напруг, обробку електричних сигналів та визначення концентрації аналізованого газу, згідно корисної моделі, що заздалегідь настроюють вимірювач концентрації газів шляхом визначення масивів відношення вихідних напруг перетворювачів потоків випромінювання до приведених напруг на відповідних світлодіодах, дані масиви відношення, які залежать від напруг на світлодіодах, записують до обчислювального блоку, перед обробкою електричних сигналів додатково вимірюють приведені напруги на відповідних світлодіодах, при цьому передають результати вимірювань до обчислювального блоку, де за цими результатами розраховують значення коефіцієнтів, потім

коефіцієнти помножують на зміряні значення напруг і результати складають з масштабними різницями напруг для кожного з вимірювальних каналів за співвідношенням:

$$U_{BK}(C) = \Delta U_{BK}(C, T) + (K_{ГР}(U_{LED_K}) - 1) \cdot K_M \cdot U_{LED_K}(T),$$

де C - концентрація аналізованого газу, $^{o}\%$; T - температура, $^{\circ}\text{C}$; $U_{BK}(C)$ - вихідна напруга

- 5 вимірювального каналу від вимірювальної концентрації газу, В; $\Delta U_{BK}(C, T)$ - масштабна різниця вихідної напруги вимірювального каналу від вимірювальної концентрації газу й температури, В; $U_{LED_K}(T)$ - приведені значення напруги на світлодіоді від температури, В; $K_{ГР}(U_{LED_K})$ - масив відношення вихідних напруг перетворювача потоку випромінювання до приведеної напруги на світлодіоді від напруги на відповідних світлодіодах; K_M - масштабний коефіцієнт, величина якого задається програмно та чисельно дорівнює значенню масштабного коефіцієнта підсилення різниці напруг для кожного вимірювального каналу.

В основу способу поставлена наступна задача: для компенсації температурного дрейфу вимірювача використовувати один і той самий термочутливий елемент, як для апаратного, так і для програмного способу. Для реалізації апаратної компенсації температури використані напруги на відповідних світлодіодах, які практично лінійно залежать від температури. Тому для реалізації програмного способу компенсації необхідно заздалегідь при настройці вимірювача в його цифровий блок ввести масиви відношення вихідних напруг перетворювачів потоків випромінювань до приведених напруг на відповідних світлодіодах. Дані масиви відношення залежать від зміни напруг на світлодіодах. При цьому для кожного вимірювального каналу додатково контролювати і вимірювати, крім вихідної напруги вимірювального каналу також і напруги на світлодіодах з урахуванням масштабних мультиплікативних коефіцієнтів та адитивних напруг зсувів. За результатами вимірювань напруг на світлодіодах вводити поправки в результати вимірювань вихідних напруг вимірювача, а після введення поправочних коефіцієнтів розраховувати концентрацію вимірюваного газового компоненту.

На фіг. 1 наведено залежності вихідних напруг вимірювальних каналів в розширеному (робочому) діапазоні температур від $+5$ до $+35^{\circ}\text{C}$, де 1 і 2 - вихідні напруги 1 і 2 вимірювальних каналів відповідно; — і — — — — — апроксимовані характеристики; \times і $+$ - результати експериментальних досліджень.

На фіг. 2 наведено залежність вихідного сигналу вимірювача концентрації газу в розширеному (робочому) діапазоні температур від $+5$ до $+35^{\circ}\text{C}$, де \times - результати експериментальних даних з урахуванням запропонованого способу.

Використання оптичних кювет дозволяє забезпечити необхідну швидкодію при вимірюванні концентрації газів, а вимірювального контролю напруг на світлодіодах та апаратно-програмної компенсації їх температурного дрейфу з урахуванням запропонованого способу дозволяє забезпечити необхідні показники точності при вимірюванні концентрації газу. Згідно з метрологічними вимогами до стаціонарних метанометрів для системи газового захисту вугільних шахт величина додаткової абсолютної похибки вимірювань концентрації метану від зміни температури в розширеному (робочому) діапазоні від $+5$ до $+35^{\circ}\text{C}$ або $(20 \pm 15)^{\circ}\text{C}$ не повинна перевищувати $\pm 0,4^{o}\%$ (подвоєного значення основної абсолютної похибки). При реалізації відомого способу вимірювання концентрації газу отримана експериментальна залежність (фіг. 1) вихідних напруг вимірювальних каналів від температури в розширеному (робочому) діапазоні від $+5$ до $+35^{\circ}\text{C}$. Максимальне амплітудне значення зміни вихідної напруги вимірювального каналу від температури в даному діапазоні складає не більш $0,8$ В (або $\pm 0,4$ В). При цьому значення додаткової похибки результатів вимірювань концентрації метану з урахуванням його чутливості ($0,15$ В/ $^{o}\%$) складе $\pm 2,6^{o}\%$, що в $6,5$ раз більше необхідного значення додаткової абсолютної похибки, величина якої не повинна перевищувати подвоєного значення основної похибки вимірювання ($\pm 0,2^{o}\%$). Тому вимірювання концентрації метану даним вимірювачем можливе тільки при додатковій програмній компенсації його температурного дрейфу.

При реалізації вимірювачів на основі запропонованого способу величина додаткової похибки вимірювань концентрації метану, яку обумовлено зміною температури в розширеному (робочому) діапазоні від $+5$ до $+35^{\circ}\text{C}$ не перевищує $0,3^{o}\%$ або $\pm 0,15^{o}\%$ (фіг. 2), що в $2,7$ разу менше, ніж вимоги до вимірювачів концентрації метану та повністю задовольняє поставленим технічним вимогам.

Приклад реалізації способу вимірювання концентрації газів.

Заздалегідь настроюють вимірювач концентрації газів в розширеному (робочому) діапазоні температур, наприклад від $+5$ до $+35^{\circ}\text{C}$. При настройці виконують вимірювання напруги на виході перетворювачів потоків випромінювання та приведених напруг на відповідних

- світлодіодах (U_{LED_K}). За отриманими даними визначають масиви відношення ($K_{ГР}$) вихідних напруг перетворювачів потоків випромінювання до приведених напруг на світлодіодах. Отримані масиви відношення, які залежать від напруг на світлодіодах, записують в пам'ять обчислювального блока. При роботі вимірювача концентрації газів одночасно виконують вимірювання вихідної напруги вимірювальних каналів, величина якого залежить від концентрації вимірюваного газового компонента та від температури, а також приведеної напруги на світлодіоді (U_{LED_K}) відповідного вимірювального каналу. За результатами вимірювань напруг на світлодіодах з масиву вибирається значення коефіцієнтів відношення вихідних напруг перетворювачів потоку випромінювання до приведених напруг на світлодіодах ($K_{ГР}(U_{LED_K})$).
- Величину даного коефіцієнта ($K_{ГР}(U_{LED_K}) - 1$) помножують на зміряне значення приведеної напруги на світлодіоді та на масштабний коефіцієнт (K_M), величина якого задається програмно та чисельно дорівнює масштабному коефіцієнту підсилення різниці напруг для кожного вимірювального каналу. Отриманий результат ($K_{ГР}(U_{LED_K}) - 1$) $\cdot K_M \cdot U_{LED_K}$ складається з вихідною напругою відповідного вимірювального каналу $\Delta U_{BK}(C, T)$. За результуючими значеннями вихідних напруг вимірювальних каналів $U_{BK}(C)$ визначають вимірювану концентрацію газового компонента безпосередньо за характеристикою перетворення вимірювача аналізованого газового компонента (фіг. 2):

$$C = \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{U_{BK0}}{U_{BK0} - U_{BK}(C)},$$

- де $U_{BK}(C)$ - вихідна напруга вимірювального каналу від концентрації газу, В; C - концентрація аналізованого газу, $^{об.}\%$; U_{BK0} - діапазон зміни вихідної напруги вимірювального каналу, В; k - масштабний коефіцієнт характеристики перетворення вимірювача по концентрації газу, $(^{об.}\%)^{-1}$; \ln - натуральний логарифм.

- З аналізу отриманих експериментальних даних (фіг. 2) можна зробити висновок, що максимальне значення додаткової похибки вимірювання концентрації метану, яке обумовлено зміною температури не перевищує $0,3^{об.}\%$ ($\pm 0,15^{об.}\%$), що в 2,7 разу менше, ніж за вимогами до даних типів вимірювачів та повністю задовольняє їх умовам експлуатації.

- Корисна модель дозволяє підвищити метрологічні показники вимірювачів концентрації газів практично в 2,7 разу 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 вибухонебезпеки газових компонент.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- Спосіб вимірювання концентрації газів, що включає пропускання оптичного випромінювання, довжину хвилі якого узгоджено з власним поглинанням аналізованого газу, вимірювання інтенсивності випромінювання, які пройшли через одну або дві кювети, перетворення зміряних значень інтенсивності в електричні сигнали, вимірювання напруг на відповідних світлодіодах при живленні їх струмом, приведення напруги кожного світлодіода до рівнів вихідних сигналів відповідних перетворювачів потоків випромінювання, віднімання приведених напруг на світлодіодах від вихідних напруг перетворювачів потоків випромінювання, масштабування різниці напруг, обробку електричних сигналів та визначення концентрації аналізованого газу, який **відрізняється** тим, що заздалегідь настроюють вимірювач концентрації газів шляхом визначення масивів відношення вихідних напруг перетворювачів потоків випромінювання до приведених напруг на відповідних світлодіодах, дані масиви відношення, які залежать від напруг на світлодіодах, записують до обчислювального блока, перед обробкою електричних сигналів додатково вимірюють приведені напруги на відповідних світлодіодах, при цьому передають результати вимірювань до обчислювального блока, де за цими результатами розраховують значення коефіцієнтів, потім коефіцієнти множать на зміряні значення напруг і результати складають з масштабними різницями напруг для кожного з вимірювальних каналів за співвідношенням:

$$U_{BK}(C) = \Delta U_{BK}(C, T) + (K_{ГР}(U_{LED_K}) - 1) \cdot K_M \cdot U_{LED_K}(T),$$

де C - концентрація аналізованого газу, $^{об.}\%$; T - температура, $^{\circ}\text{C}$; $U_{BK}(C)$ - вихідна напруга вимірювального каналу від вимірювальної концентрації газу, В; $\Delta U_{BK}(C, T)$ - масштабна різниця

- вихідної напруги вимірювального каналу від вимірювальної концентрації газу й температури, В; $U_{LED_K}(T)$ - приведені значення напруги на світлодіоді від температури, В; $K_{ГР}(U_{LED_K})$ - масив відношення вихідних напруг перетворювача потоку випромінювання до приведеної напруги на світлодіоді від напруги на відповідних світлодіодах; K_M - масштабний коефіцієнт, величина якого задається програмно та чисельно дорівнює значенню масштабного коефіцієнта підсилення різниці напруг для кожного вимірювального каналу.

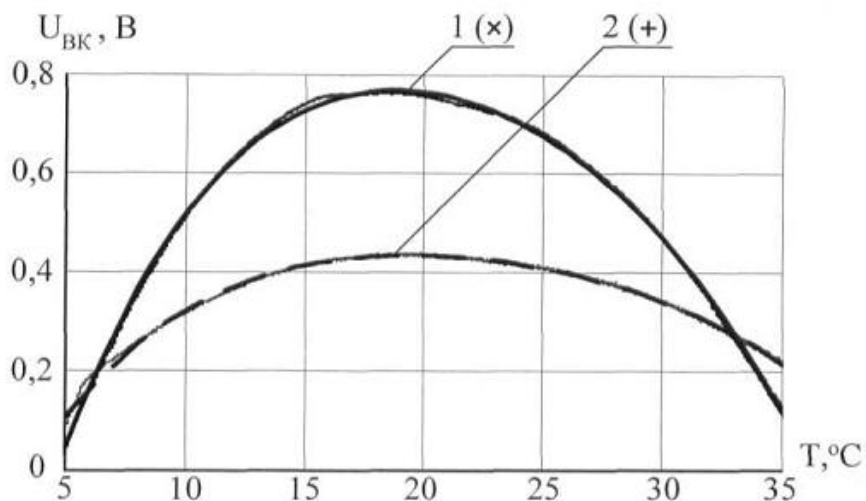


Fig. 1

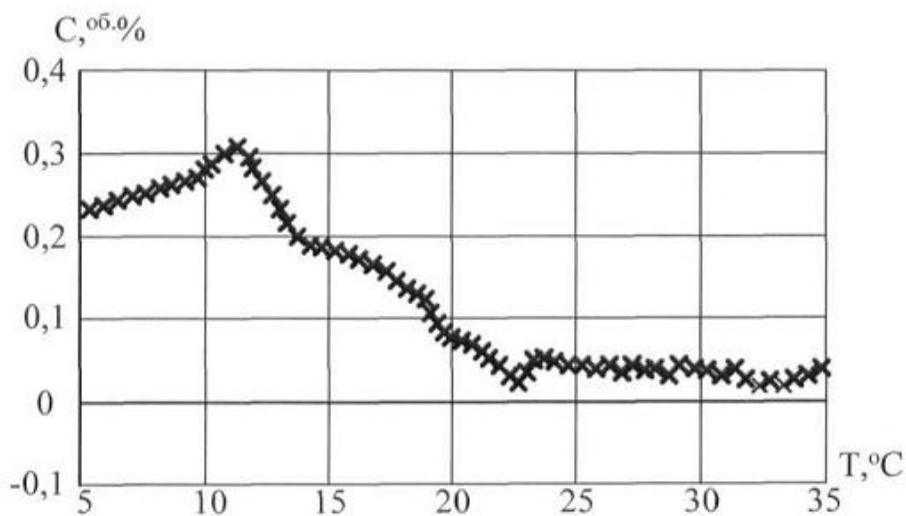


Fig. 2

Комп'ютерна верстка М. Шамоніна

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