



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **118366** (13) **U**
(51) МПК (2017.01)
G01J 5/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2016 13291	(72) Винахідник(и): Жуков Леонід Федорович (UA), Петренко Дмитро Олександрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 26.12.2016	(73) Власник(и): ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ НАН УКРАЇНИ, бул. Вернадського, 34/1, м. Київ-142, 03680 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.08.2017	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.08.2017, Бюл.№ 15	

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

(57) Реферат:

Спосіб вимірювання температури включає вимірювання двох одноколірових умовних температур для реального розподілу випромінювальної здатності об'єкта, що термометрується, і визначення за ними двох одноколірових умовних температур для дзеркального розподілу випромінювальної здатності об'єкта на тих же довжинах хвиль, з наступним розрахунком двоколірових умовних температур, для реального та дзеркального розподілів, та шуканої дійсної температури, причому за апіорною інформацією про границі змін спектральних розподілів випромінювальної здатності об'єкта, що термометрується на робочих довжинах хвиль ($\varepsilon_{\lambda 1}^{\max}, \varepsilon_{\lambda 2}^{\max}, \varepsilon_{\lambda 1}^{\min}, \varepsilon_{\lambda 2}^{\min}$), визначають максимальне та мінімальне середні значення

випромінювальної здатності ($\varepsilon_{cp}^{\max} = \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\max} + \varepsilon_{\lambda 2}^{\max}}{2}, \varepsilon_{cp}^{\min} = \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\min} + \varepsilon_{\lambda 2}^{\min}}{2}$), а також значення крутизни

($k^{\max} = \max\left\{\frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\max}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\max}}, \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\min}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\min}}\right\}, k^{\min} = \min\left\{\frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\max}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\max}}, \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\min}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\min}}\right\}$) для граничних спектральних розподілів

випромінювальної здатності, за якими розраховують налагоджувальні значення середнього

рівня випромінювальної здатності ($\varepsilon_{cp}^H = \frac{\varepsilon_{cp}^{\max} + \varepsilon_{cp}^{\min}}{2}$) і коефіцієнта селективності

випромінювання ($k^H = \frac{k^{\max} + k^{\min}}{2}$), визначають налагоджувальні значення випромінювальної

здатності на робочих довжинах хвиль ($\varepsilon_{\lambda 2}^H = \frac{2\varepsilon_{cp}^H}{k^H + 1}, \varepsilon_{\lambda 1}^H = \frac{2\varepsilon_{cp}^H k^H}{k^H + 1}$) і розраховують

одноколірові умовні температури для дзеркального розподілу.

UA 118366 U

Корисна модель належить до області оптичної термометрії та може бути використана для вимірювань дійсної температури об'єктів з невідомим та випадково змінним, в широких межах, коефіцієнтом селективності випромінювання.

Відомий спосіб вимірювання температури (патент РФ №2255312, МПК G01J 5/60. Спосіб вимірювання температури / Д.Я. Свет. Опубл. 27.06.2005, Бюл. № 18), при якому вимірюють не менше трьох однокольорових умовних температур на робочих хвилях, еквідистантно розташованих по спектру з мінімально можливою відстанню між ними, що забезпечує лінійність функції логарифму добутку випромінювальної здатності на пропускання проміжного середовища від довжини робочої хвилі та апроксимацію цієї функції поліномом першого степеня. Потім визначають коефіцієнти даного полінома і за ними розраховують логарифми добутків випромінювальної здатності на пропускання проміжного середовища на відповідних робочих хвилях. Різниця між вказаним логарифмом та зворотним значенням вимірної однокольорової умовної температури на відповідній робочій хвилі дає зворотне значення дійсної температури об'єкта. Як результат вимірювання використовують середнє арифметичне за трьома чи більше розрахованими значеннями дійсної температури.

Основним недоліком способу є складність зв'язку між отриманою за допомогою прямих вимірювань первинною пірометричною інформацією та розрахованою на її основі дійсною температурою об'єкта. Похибки таких опосередкованих вимірювань визначаються складністю вказаного зв'язку, багатоетапністю розрахунків і кількістю використовуваних в них параметрів.

Крім того, для реалізації способу необхідно вибирати досить малі відстані $\Delta\lambda$ між робочими хвилями. Наприклад, автор для спектральних розподілів випромінювальних здатностей вольфраму та заліза використовує значення $\Delta\lambda$, що дорівнюють 0,02 та 0,05 мкм, відповідно. При таких малих $\Delta\lambda$ результати прямих вимірювань однокольорових умовних температур на

λ_1 , λ_2 та λ_3 відрізняються на величину, що близька до їх похибок. Тому, отримана первинна пірометрична інформація виявляється спотвореною похибками вимірювань однокольорових умовних температур і непридатна для розрахунку дійсної температури об'єкта з прийнятною точністю. При збільшенні $\Delta\lambda$ похибки способу зростають через нелінійність реальних спектральних розподілів випромінювальної здатності об'єктів, що термометруються. Принципово цей спосіб можливо застосовувати тільки для об'єктів з лінійними залежностями логарифма добутку випромінювальної здатності на пропускання проміжного середовища від довжини хвилі при малих $\Delta\lambda$. Вказані недоліки значно обмежують область практичного застосування способу.

Відомий спосіб вимірювання температури (патент України № 54756, МПК G01J 5/00. Спосіб вимірювання температури / Л.Ф. Жуков, А.В. Богдан. Опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3), при якому вимірюють дві трикольорові чи більш високих порядків умовні температури, одна з яких лежить вище, а інша - нижче дійсної температури об'єкта, що термометрується. Дійсну температуру об'єкта визначають як середнє арифметичне цих двох вимірних кольорових умовних температур.

Основний недолік способу полягає в високому рівні інструментальних похибок, на які впливають комбінації знаків та модулі похибок вимірювань відповідних однокольорових умовних температур. Це обумовлює несиметричне, відносно дійсної температури об'єкта, зміщення трикольорових умовних температур. Іншим недоліком є складність визначення сполучених налагоджувальних хвиль. Від цього залежать методичні похибки способу. Відхилення використовуваних при вимірюваннях налагоджувальних довжин хвиль від їх реальних сполучених значень обумовлює відхилення вимірюваних трикольорових умовних температур від їх реальних значень і, відповідно, методичні похибки визначення температури. Ще один недолік способу - складність його технічної реалізації, яка передбачає підбір сполучених умовних температур шляхом регулювання налагоджувальних довжин хвиль з фіксацією потрібних їх значень.

Найбільш близьким до заявлюваного способу є спосіб вимірювання температури, який викладено в статті "Двокольорова компенсаційна термометрія металевих сплавів та її інструментальні похибки" (Л.Ф. Жуков, Д.О. Петренко, А.Л. Корнієнко. Процеси лиття, №5, 2016. С. 48-58). Він призначений для вимірювання дійсної температури об'єкта зі змінною випромінювальною здатністю шляхом вимірювань пірометром на робочих довжинах хвиль двох однокольорових умовних температур для реального розподілу випромінювальної здатності об'єкта, що термометрується, з подальшим визначенням за ними двох однокольорових умовних температур для дзеркального розподілу випромінювальної здатності на тих же довжинах хвиль. Потім за дзеркальними умовними температурами розраховують двокольорові умовні

температури - "реальну" та "дзеркальну", за якими розраховують зворотне значення дійсної температури об'єкта як середнє арифметичне зворотних значень двокольорових умовних температур, за яким, в свою чергу, знаходять значення дійсної температури об'єкта.

Загальними суттєвими ознаками відомого та способу, що заявляється, є використання двох двокольорових умовних температур, одна з яких вища, а інша - нижча, ніж дійсна температура об'єкта.

Основний недолік способу полягає в тому, що при низьких, порівняно з відомими рішеннями, інструментальних похибках, методичні похибки, які визначаються в тому числі нестабільною селективністю випромінювання об'єктів, що термометруються, можуть досягати значень, які виключають практичне застосування відомого способу.

В основу даної корисної моделі поставлено задачу підвищення точності вимірювання температури об'єктів із випадково змінним, в широких межах, коефіцієнтом селективності випромінювання шляхом зниження методичних похибок і розширення, за рахунок цього, області застосування оптичної термометрії.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі вимірювання температури, який включає вимірювання двох однокольорових умовних температур для реального розподілу випромінювальної здатності об'єкта, що термометрується, і визначення за ними двох однокольорових умовних температур для дзеркального розподілу випромінювальної здатності об'єкта на тих же довжинах хвиль, з наступним розрахунком двокольорових умовних температур, для реального та дзеркального розподілів, та шуканої дійсної температури, згідно з корисною моделлю, за апіорною інформацією про границі змін спектральних розподілів випромінювальної здатності об'єкта, що термометрується на робочих довжинах хвиль

$(\varepsilon_{\lambda 1}^{\max}, \varepsilon_{\lambda 2}^{\max}, \varepsilon_{\lambda 1}^{\min}, \varepsilon_{\lambda 2}^{\min})$, визначають максимальне та мінімальне середні значення

випромінювальної здатності $(\varepsilon_{cp}^{\max} = \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\max} + \varepsilon_{\lambda 2}^{\max}}{2}, \varepsilon_{cp}^{\min} = \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\min} + \varepsilon_{\lambda 2}^{\min}}{2})$, а також значення крутизни

$k^{\max} = \max\left\{\frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\max}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\max}}; \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\min}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\min}}\right\}$, $k^{\min} = \min\left\{\frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\max}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\max}}; \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\min}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\min}}\right\}$ для граничних спектральних розподілів випромінювальної здатності, за якими розраховують налагоджувальні значення середнього

рівня випромінювальної здатності $(\varepsilon_{cp}^H = \frac{\varepsilon_{cp}^{\max} + \varepsilon_{cp}^{\min}}{2})$ і коефіцієнта селективності

випромінювання $(k^H = \frac{k^{\max} + k^{\min}}{2})$, визначають налагоджувальні значення випромінювальної

здатності на робочих довжинах хвиль $(\varepsilon_{\lambda 2}^H = \frac{2\varepsilon_{cp}^H}{k^H + 1}, \varepsilon_{\lambda 1}^H = \frac{2\varepsilon_{cp}^H k^H}{k^H + 1})$ і розраховують однокольорові умовні температури для дзеркального розподілу.

Спосіб вимірювання температури реалізується наступним чином. Пірометром вимірюють дві однокольорові умовні температури S_1 і S_2 на робочих хвилях λ_1 і λ_2 для реального розподілу випромінювальної здатності об'єкта, що термометрується. За даними вимірюваннями розраховують "реальну" двокольорову умовну температуру

$$S_{2\lambda} = \frac{1}{\lambda_{\text{екв}} \left(\frac{1}{\lambda_1 \cdot S_1} - \frac{1}{\lambda_2 \cdot S_2} \right)}, \quad (1)$$

$$\lambda_{\text{екв}} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} - \text{еквівалентна довжина хвилі двокольорового пірометра.}$$

Використовуючи апіорну інформацію про границі змін спектральних розподілів випромінювальної здатності об'єкта, що термометрується на робочих довжинах хвиль

$(\varepsilon_{\lambda 1}^{\max}, \varepsilon_{\lambda 2}^{\max}, \varepsilon_{\lambda 1}^{\min}, \varepsilon_{\lambda 2}^{\min})$, визначають максимальне і мінімальне середні значення випромінювальної здатності (2, 3)

$$\varepsilon_{cp}^{\max} = \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\max} + \varepsilon_{\lambda 2}^{\max}}{2} ; (2)$$

$$\varepsilon_{cp}^{\min} = \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\min} + \varepsilon_{\lambda 2}^{\min}}{2} , (3)$$

а також крутизни спектрального розподілу випромінювальної здатності (4, 5)
max min

$$k^{\max} = \max \left\{ \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\max}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\max}} ; \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\min}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\min}} \right\} , (4)$$

$$k^{\min} = \min \left\{ \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\max}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\max}} ; \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\min}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\min}} \right\} . (5)$$

Після цього, на основі визначених граничних значень оптичних характеристик об'єкта, розраховують налагоджувальні значення середнього рівня випромінювальної здатності (6) і коефіцієнта селективності випромінювання (7)

$$\varepsilon_{cp}^H = \frac{\varepsilon_{cp}^{\max} + \varepsilon_{cp}^{\min}}{2} ; (6)$$

$$k^H = \frac{k^{\max} + k^{\min}}{2} . (7)$$

Використовуючи отримані за формулами (6, 7) налагоджувальні оптичні характеристики об'єкта, розраховують налагоджувальні значення випромінювальної здатності на робочих довжинах хвиль (8, 9)

$$\varepsilon_{\lambda 1}^H = \frac{2\varepsilon_{cp}^H k^H}{k^H + 1} ; (8)$$

$$\varepsilon_{\lambda 2}^H = \frac{2\varepsilon_{cp}^H}{k^H + 1} . (9)$$

Однокольорові умовні температури, які відповідають дзеркальному розподілу випромінювальної здатності, розраховують як функції від виміряних однокольорових умовних температур і визначених налагоджувальних оптичних характеристик

$$S_1' = \frac{S_2 C_2}{S_2 \ln(\varepsilon_{\lambda 2}^H)(\lambda_2 - \lambda_1) + C_2} ; (10)$$

$$S_2' = \frac{-S_1 C_2}{S_1 \ln(\varepsilon_{\lambda 1}^H)(\lambda_2 - \lambda_1) + C_2} , (11)$$

де $C_2 = 0,014388 \text{ K} \cdot \text{м}$ - друга стала Планка.

Потім розраховують "дзеркальну" двокольорову умовну температуру

$$S_{2y}' = \frac{1}{\lambda_{\text{екв}} \left(\frac{1}{\lambda_1 \cdot S_1'} - \frac{1}{\lambda_2 \cdot S_2'} \right)} . (12)$$

Після чого обчислюють дійсну температуру об'єкта

$$T = \frac{2}{\frac{1}{S_{2y}} + \frac{1}{S_{2y}'}} . (13)$$

Запропонований спосіб, порівняно з прототипом, має в два рази нижчі методичні похибки при випадкових змінах випромінювальних характеристик об'єктів, що термометруються. Наприклад, при контролі температури металу на випуску з вагранки методична похибка запропонованого способу, за рахунок змін середнього рівня випромінювальної здатності і

селективності випромінювання, буде вдвічі нижчою, ніж у прототипі і складе 0,5 %. Необхідно відмітити, що при цьому порівняно з енергетичною термометрією на $\varepsilon_{\lambda 1}$, $\varepsilon_{\lambda 2}$ методичні похибки знижуються в 4,7-6,3 разу, а порівняно з пірометрією випромінювання спектрального відношення - в 41,7 разу.

5

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб вимірювання температури, що включає вимірювання двох однокольорових умовних температур для реального розподілу випромінювальної здатності об'єкта, що термометрується, і визначення за ними двох однокольорових умовних температур для дзеркального розподілу випромінювальної здатності об'єкта на тих же довжинах хвиль, з наступним розрахунком двокольорових умовних температур, для реального та дзеркального розподілів, та шуканої дійсної температури, який **відрізняється** тим, що за апіорною інформацією про границі змін спектральних розподілів випромінювальної здатності об'єкта, що термометрується на робочих довжинах хвиль ($\varepsilon_{\lambda 1}^{\max}$, $\varepsilon_{\lambda 2}^{\max}$, $\varepsilon_{\lambda 1}^{\min}$, $\varepsilon_{\lambda 2}^{\min}$), визначають максимальне та мінімальне середні значення випромінювальної здатності ($\varepsilon_{\text{ср}}^{\max} = \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\max} + \varepsilon_{\lambda 2}^{\max}}{2}$, $\varepsilon_{\text{ср}}^{\min} = \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\min} + \varepsilon_{\lambda 2}^{\min}}{2}$), а також значення крутизни ($k^{\max} = \max\left\{\frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\max}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\max}}, \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\min}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\min}}\right\}$, $k^{\min} = \min\left\{\frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\max}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\max}}, \frac{\varepsilon_{\lambda 1}^{\min}}{\varepsilon_{\lambda 2}^{\min}}\right\}$) для граничних спектральних розподілів випромінювальної здатності, за якими розраховують налагоджувальні значення середнього рівня випромінювальної здатності ($\varepsilon_{\text{ср}}^{\text{H}} = \frac{\varepsilon_{\text{ср}}^{\max} + \varepsilon_{\text{ср}}^{\min}}{2}$) і коефіцієнта селективності випромінювання ($k^{\text{H}} = \frac{k^{\max} + k^{\min}}{2}$), визначають налагоджувальні значення випромінювальної здатності на робочих довжинах хвиль ($\varepsilon_{\lambda 2}^{\text{H}} = \frac{2\varepsilon_{\text{ср}}^{\text{H}}}{k^{\text{H}} + 1}$, $\varepsilon_{\lambda 1}^{\text{H}} = \frac{2\varepsilon_{\text{ср}}^{\text{H}} k^{\text{H}}}{k^{\text{H}} + 1}$) і розраховують однокольорові умовні температури для дзеркального розподілу.

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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