



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **82870** (13) **U**
(51) МПК (2013.01)
G01J 5/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: а 2013 03825	(72) Винахідник(и): Луданов Костянтин Іванович (UA)
(22) Дата подання заявки: 28.03.2013	(73) Власник(и): Луданов Костянтин Іванович,
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.08.2013	вул. Боженко, 14, м. Боярка, Київська обл., 08151 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.08.2013, Бюл.№ 16	

(54) КОМБІНОВАНИЙ СПОСІБ ТРИХРОМАТИЧНОЇ ЯСКРАВІСНОЇ ПІРОМЕТРІЇ

(57) Реферат:

Комбінований спосіб трихроматичної яскравісної пірометрії здійснюють шляхом вимірів трьох яскравісних температур селективної поверхні з відомим характером дисперсії спектральної випромінюючої здатності в робочому діапазоні пірометра. При визначенні проміжної довжини хвилі λ_2 з $f^{-1}(\bar{\epsilon}_{13})$ - як середнє $\bar{\epsilon}_{13}$ від двох базових спектральних випромінюючих здатностей на межах робочого діапазону пірометра (ϵ_1 та ϵ_3) застосовують їх середньгеометричне значення.

UA 82870 U

Корисна модель належить до галузі спектральної пірометрії і може бути використана при пірометричному визначенні істинної температури T_0 селективно випромінюючої поверхні з відомим характером залежності спектральної випромінюючої здатності від довжини хвилі $\varepsilon = f(\lambda)$ в діапазоні вимірювання пірометра $\lambda \in (\lambda_1 \div \lambda_3)$.

- 5 Відомий спосіб трихроматичної яскравісної пірометрії з визначення T_0 селективно випромінюючої поверхні у випадку, коли її спектральна випромінююча здатність $\varepsilon(\lambda)$ лінійно залежить від довжини хвилі: $\varepsilon(\lambda) = a + b\lambda$ (див. А.С. № 476464, ССРСР). У цьому способі спочатку вимірюють три яскравісні температури $(T_{Si})^{-1} = (T_0)^{-1} - (\lambda_i / C_2) \cdot \ln(\varepsilon_i)$ для трьох довжин хвиль λ_1, λ_2 і λ_3 відповідно, а потім по них визначають дві невідомих: істинну температуру T_0 і комплекс $\alpha(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = (\varepsilon_3 - \varepsilon_1) / \varepsilon_2$ шляхом чисельного рішення системи двох трансцендентних рівнянь:

$$\begin{cases} \ln(b_{\lambda_2} / b_{\lambda_1}) = C_2(1/\lambda_2 - 1/\lambda_1) / T - 5 \ln(\lambda_1 / \lambda_2) + \ln\{1 - [(\lambda_2 - \lambda_1) / (\lambda_3 - \lambda_2)]\} \cdot \alpha(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \\ \ln(b_{\lambda_3} / b_{\lambda_2}) = C_2(1/\lambda_3 - 1/\lambda_2) / T - 5 \ln(\lambda_2 / \lambda_3) + \ln[1 - \alpha(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)] \end{cases}$$

(див. Блох А.Г. Основы теплообмена излучением. М., 1961, с. 264).

- Основний недолік способу-аналога полягає в тому, що в загальному випадку спектральна випромінююча здатність поверхонь $\varepsilon = f(\lambda)$ є нелінійною, що призводить до похибок. Крім того, дійсну температуру T_0 з цієї системи рівнянь не можна виразити в явному вигляді і тому вона має вирішуватися чисельно.

- Найбільш близьким по технічній суті та досягнутому результату є комбінований спосіб трихроматичної колірної пірометрії (Пат. України № 73231 "Комбінований спосіб трихроматичної колірної пірометрії" від 15.06.2005, Бюл. № 6), в якому істинну температуру T_0 визначають на основі вимірювань трьох яскравісних температур $T_{Si}(\lambda_i)$ селективної поверхні з відомим характером залежності спектральної випромінюючої здатності $\varepsilon = f(\lambda)$ від довжини хвилі в робочому діапазоні $\lambda \in (\lambda_1 \div \lambda_3)$ їх вимірювання (за умов попереднього визначення проміжної довжини хвилі λ_2 з використанням функції $\lambda_2 = f^{-1}(\varepsilon_2) \equiv F(\bar{\varepsilon}_{ap})$, зворотної до $\varepsilon = f(\lambda)$, у випадку $\varepsilon_2 = \bar{\varepsilon}_{ap}$ від ε_1 та ε_3) і розрахунку по них колірних температур $T_{Si}(\lambda_i)$, та насамкінець, визначення істинної температури T_0 методом послідовних наближень із неявного аналітичного виразу, отриманого в результаті вирішення системи трьох рівнянь-виразів для колірних температур $T_{Si}(\lambda_i)$.

- Основним недоліком способу-прототипу є те, що істинна температура випромінюючої поверхні T_0 визначається методом послідовних наближень, який очевидно, має меншу точність, ніж її визначення з явного аналітичного виразу. Крім того, процедура розрахунку T_0 досить складна, бо включає крім розрахунків яскравісних температур $T_{Si}(\lambda_i)$ додаткові розрахунки трьох колірних температур $T_{Si}(\lambda_i)$ та декілька ітерацій в рамках методу послідовних наближень.

- В основу корисної моделі поставлена задача уточнення та спрощення способу трихроматичної спектральної пірометрії, в якому застосуванням в процедурі попереднього визначення проміжної довжини хвилі пірометра λ_2 по характеру дисперсії $\varepsilon = f(\lambda)$ зі зворотної функції $\lambda_2 = f^{-1}(\varepsilon_2) \equiv F(\bar{\varepsilon}_{13})$ як середнє значення $\bar{\varepsilon}_{13}$ від спектральних випромінюючих здатностей ε_1 та ε_3 - їх середнього геометричного $(\varepsilon_2 = \sqrt{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3})$, при цьому $\lambda_2 = f^{-1}(\sqrt{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3}) \equiv F(\sqrt{f(\lambda_1) \cdot f(\lambda_3)})$, - забезпечується "замикання" системи трьох рівнянь-виразів для яскравісних температур $T_{Si}(\lambda_i)$ і, таким чином, забезпечується точне визначення по формулі істинної температури T_0 селективно випромінюючої поверхні при будь-якому характері

дисперсії спектральної випромінюючої здатності $\varepsilon = f(\lambda)$ в робочому діапазоні пірометра $\lambda \in (\lambda_1 \div \lambda_3)$.

Поставлена задача вирішується тим, що в комбінованому способі трихроматичної яскравісної пірометрії, який здійснюється шляхом вимірів трьох яскравісних температур T_s селективної поверхні з відомим характером дисперсії спектральної випромінюючої здатності $\varepsilon = f(\lambda)$ в робочому діапазоні пірометра $\lambda \in (\lambda_1 \div \lambda_3)$, причому двох з них: $T_s(\lambda_1)$ і $T_s(\lambda_3)$ на його межах (λ_1 і λ_3), а температури $T_s(\lambda_2)$ - на проміжній довжині хвилі λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$), котра визначається попередньо зі зворотної функції $\lambda_2 = f^{-1}(\varepsilon_2) \equiv F(\bar{\varepsilon}_{13})$ і забезпечує умови рівності проміжної випромінюючої здатності ε_2 середньому $\bar{\varepsilon}_{13}$ від випромінюючих здатностей на межах робочого діапазону пірометра (ε_1 та ε_3), у відповідності з винаходом як середнє значення $\bar{\varepsilon}_{13}$ від двох базових спектральних випромінюючих здатностей на межах робочого діапазону пірометра (ε_1 та ε_3) застосовують їх середнє геометричне: $\bar{\varepsilon}_{13} = \sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]}$, при цьому $\lambda_2 = f^{-1}(\bar{\varepsilon}_{13}) = f^{-1}(\sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]}) \equiv F(\sqrt{[f(\lambda_1) \cdot f(\lambda_3)]})$,

де λ_1, λ_2 і λ_3 - робочі довжини хвиль пірометра (мкм);

λ_1 і λ_3 - базові довжини хвиль пірометра на межах його робочого діапазону,

λ_2 - проміжна довжина хвилі, на якій проводиться вимір яскравісної температури T_{s2} , вона визначається зі зворотної функції $f^{-1}(\varepsilon_2) \equiv F(\bar{\varepsilon}_{13})$,

$F(\sqrt{[f(\lambda_1) \cdot f(\lambda_3)]}) \equiv f^{-1}(\sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]})$ - зворотна функція до дисперсії спектральної випромінюючої здатності поверхні в робочому діапазоні, тобто до функції $\varepsilon = f(\lambda)$,

а істинну температуру поверхні T_o визначають з формули:

$$T_o = \left\{ 1 - \lambda_2 \left[(\lambda_1)^{-1} + (\lambda_3)^{-1} \right] / 2 \right\} / \left\{ (T_{s2})^{-1} - \lambda_2 \left[(\lambda_1 \cdot T_{s1})^{-1} + (\lambda_3 \cdot T_{s3})^{-1} \right] / 2 \right\},$$

де T_{s1}, T_{s2} і T_{s3} - яскравісні температури селективно випромінюючої поверхні, К, виміряних на трьох робочих довжинах хвиль пірометра (λ_1, λ_2 і λ_3).

Такий способ трихроматичної спектральної пірометрії забезпечує більш простіше та точніше визначення по формулі істинної температури T_o селективної поверхні з будь-яким характером дисперсії $\varepsilon(\lambda)$ в робочому діапазоні пірометра.

Пропозиція пояснюється наступним: лише в одному-єдиному випадку, при $\varepsilon_2 = \sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]}$ система трьох рівнянь, кожне з яких являє собою вираз залежності логарифма спектральної випромінюючої здатності $\ln \varepsilon_i$ від яскравісної температури T_{si} : $\ln \varepsilon_i = (C_2 / \lambda_i) \cdot [(T_o)^{-1} - (T_{si})^{-1}]$ - "замикається" з виключенням одразу трьох невідомих: $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ та ε_3 . У цьому випадку логарифмуючи рівність $\varepsilon_2 = \sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]}$ отримуємо вираз $\ln \varepsilon_2 = (\ln \varepsilon_1 + \ln \varepsilon_3) / 2$, розписуючи члени якого маємо:

$$(C_2 / \lambda_2) \cdot [(T_o)^{-1} - (T_{s2})^{-1}] = \left\{ (C_2 / \lambda_1) \cdot [(T_o)^{-1} - (T_{s1})^{-1}] + (C_2 / \lambda_3) \cdot [(T_o)^{-1} - (T_{s3})^{-1}] \right\} / 2$$

Підсумовуючи подібні члени - отримуємо аналітичне рішення цього рівняння для істинної

температури T_o , яке має досить простий вигляд:

$$T_o = \left\{ 1 - \lambda_2 \left[(\lambda_1)^{-1} + (\lambda_3)^{-1} \right] / 2 \right\} / \left\{ (T_{s2})^{-1} - \lambda_2 \left[(\lambda_1 \cdot T_{s1})^{-1} + (\lambda_3 \cdot T_{s3})^{-1} \right] / 2 \right\}$$

де T_{s1}, T_{s2} і T_{s3} - яскравісні температури селективно випромінюючої поверхні, К, які вимірюються на хвилях λ_1, λ_2 і λ_3 в робочому діапазоні пірометра $\lambda \in (\lambda_1 \div \lambda_3)$. При цьому дві з цих температур $T_s(\lambda_1)$ і $T_s(\lambda_3)$ вимірюються на його межах, а для того, щоб забезпечити

рівність $\varepsilon_2 = \sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]}$, температуру $T_s(\lambda_2)$ треба вимірювати на проміжній довжині хвилі

λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$), котру необхідно визначати попередньо, використовуючи поняття зворотної функції по формулі $\lambda_2 = f^{-1}(\varepsilon_2) = f^{-1}(\sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]}) \equiv F(\sqrt{[f(\lambda_1) \cdot f(\lambda_3)]})$ шляхом застосування як середнього $\bar{\varepsilon}_{13}$ від ε_1 та ε_3 - їх середньгеометричного значення: $\varepsilon_2 = \sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]}$.

Тут треба відмітити, що в запропонованому способі необхідно заздалегідь мати навіть не абсолютні значення спектральних випромінюючих здатностей: $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ і ε_3 , а саме характер дисперсії спектральної випромінюючої здатності $\varepsilon = f(\lambda)$ селективної поверхні в робочому діапазоні пірометра $\lambda \in (\lambda_1 \div \lambda_3)$.

ПРИКЛАД.

1) Якщо характер залежності $\varepsilon = f(\lambda)$ має вираз $\ln \varepsilon = a + b\lambda$, то зворотна функція до $\varepsilon = f(\lambda)$ має вигляд $\lambda = (\ln \varepsilon - a)/b$. Тоді $\lambda_2 = (\ln \varepsilon_2 - a)/b$. Підставляючи замість ε_2 його значення $\varepsilon_2 = \sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]}$, отримуємо: $\lambda_2 = (\ln \sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]} - a)/b = [(\ln \varepsilon_1 + \ln \varepsilon_3)/2 - a]/b$. А замінюючи $\ln \varepsilon_1$ та $\ln \varepsilon_3$ на їх вирази, отримуємо:

$$\lambda_2 = [(a + b\lambda_1) + (a + b\lambda_3)]/b - a = [2a + b(\lambda_1 + \lambda_3)]/b - a = (\lambda_1 + \lambda_3)/2.$$

Таким чином, якщо заздалегідь відомо, що характер дисперсії спектральної випромінюючої здатності поверхні $\varepsilon = f(\lambda)$ в робочому діапазоні пірометра має вигляд $\ln \varepsilon = a + b\lambda$, то температуру $T_S(\lambda_2)$ треба вимірювати на проміжній довжині хвилі λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$), яка дорівнює середньому арифметичному від базових довжин хвиль на межах робочого діапазону пірометра:

$$\lambda_2 = (\lambda_1 + \lambda_3)/2.$$

2) Якщо характер залежності $\varepsilon = f(\lambda)$ має лінійний вираз $\varepsilon = a + b\lambda$, то зворотна функція до $\varepsilon = f(\lambda)$ має вигляд $\lambda = (\varepsilon - a)/b$. Тоді $\lambda_2 = (\varepsilon_2 - a)/b$. Підставляючи замість ε_2 його значення $\varepsilon_2 = \sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]}$, отримуємо:

$$\lambda_2 = (\sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]} - a)/b = \{\sqrt{[(a + b\lambda_1) \cdot (a + b\lambda_3)]} - a\}/b = \sqrt{[(a/b + \lambda_1) \cdot (a/b + \lambda_3)]} - a/b.$$

Таким чином, якщо заздалегідь відомо, що характер дисперсії спектральної випромінюючої здатності $\varepsilon = f(\lambda)$ в робочому діапазоні пірометра має лінійний вигляд $\varepsilon = a + b\lambda$, то температуру $T_S(\lambda_2)$ треба вимірювати на проміжній довжині хвилі λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$), яка представляє нелінійний вираз від базових довжин хвиль на межах робочого діапазону пірометра λ_1, λ_3 та від характерної довжини хвилі $\lambda_0 = a/b$. Цей вираз λ_2 відображає саме характер дисперсії $\varepsilon(\lambda)$, і не містить абсолютних значень спектральних випромінюючих здатностей:

$$\lambda_2 = \sqrt{[(\lambda_0 + \lambda_1) \cdot (\lambda_0 + \lambda_3)]} - \lambda_0.$$

Заявлений спосіб комбінованої яскравісної пірометрії забезпечує більш простіше та точніше визначення по формулі істинної температури T_0 селективної поверхні з будь-яким характером дисперсії $\varepsilon(\lambda)$ в робочому діапазоні пірометра, що виключає необхідність розрахунків відповідних колірних температур та використання в розрахунках T_0 методу послідовних наближень.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Комбінований спосіб трихроматичної яскравісної пірометрії, що здійснюється шляхом вимірів трьох яскравісних температур T_S селективної поверхні з відомим характером дисперсії спектральної випромінюючої здатності $\varepsilon = f(\lambda)$ в робочому діапазоні пірометра $\lambda \in (\lambda_1 \div \lambda_3)$, причому двох з них $T_S(\lambda_1)$ і $T_S(\lambda_3)$ - на його межах, а температури $T_S(\lambda_2)$ - на проміжній довжині хвилі λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$), котра визначається попередньо зі зворотної функції $\lambda_2 = f^{-1}(\varepsilon_2) \equiv F(\bar{\varepsilon}_{13})$ і

- забезпечує умови рівності проміжної величини спектральної випромінюючої здатності ε_2 середньому $\bar{\varepsilon}_{13}$ від спектральних випромінюючих здатностей на межах робочого діапазону пірометра (ε_1 та ε_3), який **відрізняється** тим, що при визначенні λ_2 з $f^{-1}(\bar{\varepsilon}_{13})$ - як середнє $\bar{\varepsilon}_{13}$ від двох базових спектральних випромінюючих здатностей на межах робочого діапазону
- 5 пірометра (ε_1 та ε_3) застосовують їх середньгеометричне значення: $\bar{\varepsilon}_{13} = \sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]}$, при цьому
- $$\lambda_2 = f^{-1}(\sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]}) \equiv F(\sqrt{[f(\lambda_1) \cdot f(\lambda_3)]}),$$
- де λ_1, λ_2 і λ_3 - робочі довжини хвиль пірометра (мкм);
- λ_1 і λ_3 - базові довжини хвиль пірометра на межах його робочого діапазону,
- λ_2 - проміжна довжина хвилі, на якій проводиться вимір яскравісної температури T_{S2} , вона
- 10 визначається з функції $f^{-1}(\bar{\varepsilon}_{13}) \equiv F(\varepsilon_2)$;
- $$F(\sqrt{[f(\lambda_1) \cdot f(\lambda_3)]}) \equiv f^{-1}(\sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]})$$
- зворотна функція до дисперсії спектральної випромінюючої здатності поверхні в робочому діапазоні пірометра, тобто до функції
- $\varepsilon = f(\lambda)$
- при умові
- $\varepsilon_2 = \sqrt{[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3]}$
- ;
- а істинну температуру поверхні T_o визначають з формули:
- 15 $T_o = \left\{ 1 - \lambda_2 \left[(\lambda_1)^{-1} + (\lambda_3)^{-1} \right] / 2 \right\} / \left\{ (T_{S2})^{-1} - \lambda_2 \left[(\lambda_1 \cdot T_{S1})^{-1} + (\lambda_3 \cdot T_{S3})^{-1} \right] / 2 \right\},$
- де T_{S1}, T_{S2} і T_{S3} - яскравісні температури селективно випромінюючої поверхні, К, що виміряні на трьох робочих довжинах хвиль пірометра (λ_1, λ_2 і λ_3).