

УДК 681.518.3

Б.І. Скорик¹, А.Б. Скорик², О.І. Дзимица¹¹Дніпропетровський державний університет, Дніпропетровськ²Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ВИЗНАЧЕННЯ ПОГРІШНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЯРКІСНИМИ ПІРОМЕТРАМИ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Запропоновано методику розрахунку методичних погрішностей яркісних пірометрів залежно від використовуваної при вимірюваннях температури спектральної області й зміни випромінювальної здатності ϵ_λ нагрітого тіла.

яркісні пірометри, температура спектральної області, випромінювальна здатність

Вступ

Створення й ефективне впровадження систем автоматичного управління сучасними технологічними процесами неможливо без використання безконтактних засобів вимірювання температури, а саме засобів оптичної пірометрії (пірометрів) [1 – 3]. Крім того, використання безконтактних вимірювачів температури у складі оптико-електронних систем військового призначення дозволяє підвищити ймовірність розпізнавання цілей від завад.

Виклад основного матеріалу

Сучасні пірометри являють собою складні оптико-електронні системи, що дозволяють користувачеві вирішити практично будь-яке завдання по вимірюванню температури тіл у діапазоні від -50 до 6000°C . Найбільше поширення в практиці вимірів і контролю температури нагрітих тіл одержали яркісні пірометри [1, 3].

Як правило, для розрахунку методичних погрішностей яркісних пірометрів використовується формула Віна для абсолютно чорного тіла, що встановлює залежності величини потоку випромінювання й спектрального розподілу енергії випромінювання від температури нагрітого тіла:

$$V_{\lambda T} = \frac{C_1 \cdot \lambda^{-5}}{\pi} \cdot \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda T}\right), \quad (1)$$

де $V_{\lambda T}$ – спектральна енергетична яскравість; T – температура нагрітого тіла, $^\circ\text{K}$; $C_1 = 3,7413 \cdot 10^{-12}$ Вт·см²; $C_2 = 1,438$ см·град; λ – довжина хвилі випромінювання, мкм.

Однак, відомо [1, 2], що ці залежності найбільш точно визначаються формулою Планка:

$$V_{\lambda T} = \frac{C_1 \cdot \lambda^{-5}}{\pi} \cdot \left(\exp\left(-\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right)^{-1}. \quad (2)$$

У зв'язку з цим доречно провести дослідження зміни методичної погрішності вимірювань яркісного пірометра при використанні формул Віна й Планка з

урахуванням змін коефіцієнта випромінювальної здатності ϵ_λ у заданій спектральній області.

Відмінність випромінювання реальних тіл $V_{\lambda T}$ від випромінювання абсолютно чорного тіла (по якому роблять градуировку всіх пірометрів випромінювання) $V_{\lambda T}$, відповідно до закону Кірхгофа, може бути враховане через коефіцієнт випромінювальної здатності тіла ϵ_λ :

$$V_{\lambda T} = \epsilon_\lambda \cdot V_{\text{олТ}}. \quad (3)$$

Яркісну температуру T_y реального тіла прийнято [2] визначати як таку температуру абсолютно чорного тіла, при якій монохроматичні яскравості обох тіл рівні. Цю рівність із урахуванням закону Кірхгофа можна записати в наступному вигляді:

$$V_{\lambda T_y} = \epsilon_\lambda \cdot V_{\text{олТ}}. \quad (4)$$

Із цієї рівності знайдемо зв'язок між яркісною температурою T_y (що вимірюється пірометром) і істинною температурою T тіла в межах застосовності формули Віна, підставивши в (4) вираження (1):

$$T = \frac{T_y}{1 + \alpha(\epsilon_\lambda) \cdot T_y}, \quad (5)$$

$$\text{де } \alpha(\epsilon_\lambda) = \frac{\lambda}{C_2} \cdot \ln \epsilon_\lambda.$$

Для тих випадків, коли бажано звільнитися від обмежень формули Віна, підставимо в обидві частини рівняння (4) значення $V_{\lambda T_y}$ й $V_{\lambda T}$, знайдені за формулою (2) Планка. У результаті отримаємо:

$$T = \frac{T_y}{1 + \alpha(\epsilon_\lambda) \cdot T_y}, \quad (6)$$

$$\text{де } \alpha(\epsilon_\lambda) = \frac{\lambda}{C_2} \cdot \ln \left[\epsilon_\lambda - (1 - \epsilon_\lambda) \cdot e^{-\frac{C_2}{\lambda T_y}} \right].$$

По формулах (5) і (6) можуть бути побудовані будь-які графічні залежності необхідні користувачеві. На рис. 1, 2 показані графічні залежності істинної температури T нагрітого тіла від змін коефіцієнта випромінювальної здатності ϵ_λ при постійних значеннях яркісної температури T_y й постійних значеннях ефективних довжин хвиль λ .

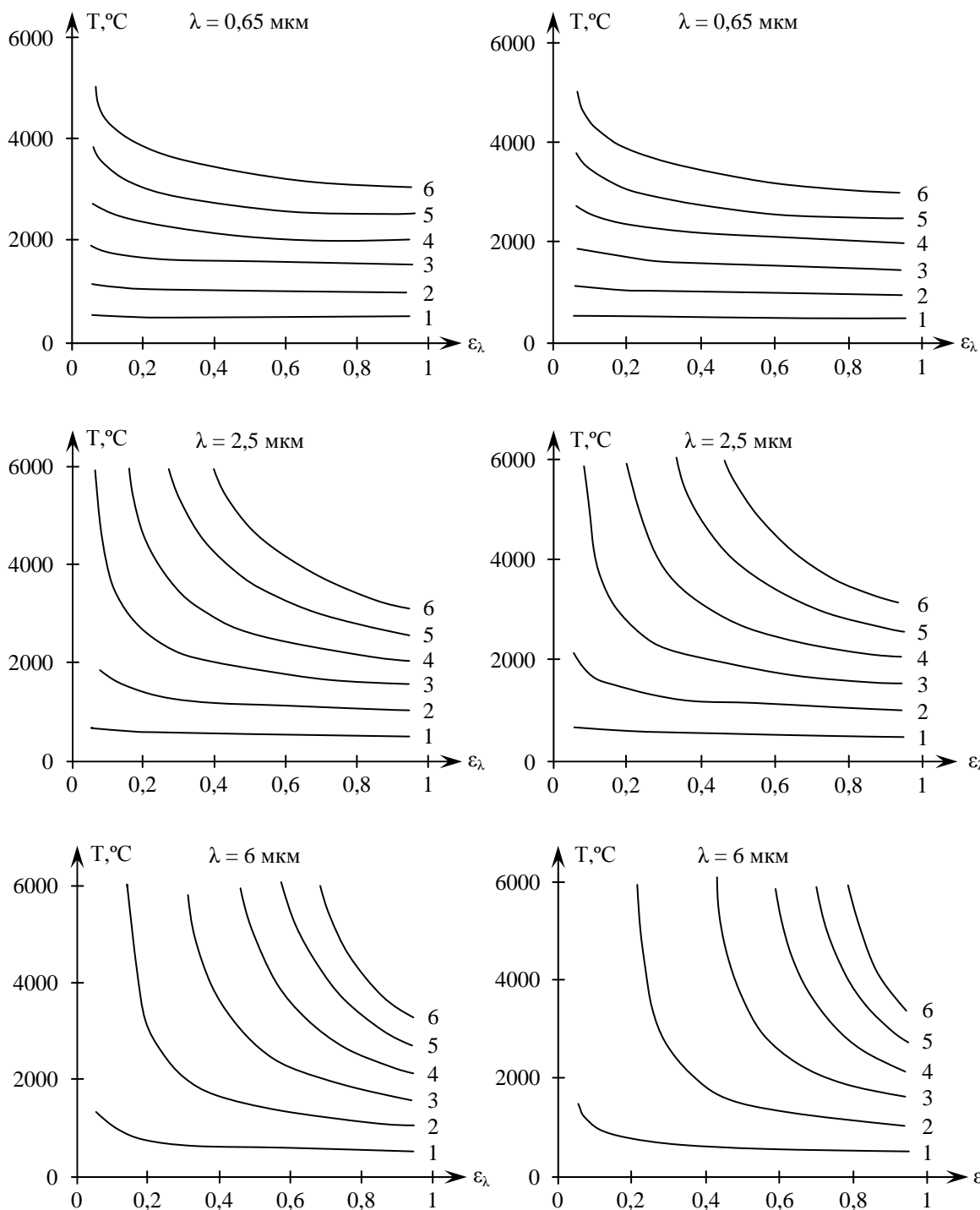


Рис. 1. Графічні залежності за формулою Віна

Рис. 2. Графічні залежності за формулою Планка

Графіки на рис. 1, 2 побудовані при наступних значеннях яркісних температур: 1 – $T_{я} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $T_{я} = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $T_{я} = 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – $T_{я} = 2000\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 – $T_{я} = 2500\text{ }^{\circ}\text{C}$; 6 – $T_{я} = 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Наведені вище формули (5), (6) і графіки рис. 1, 2 дають уявлення про характер і числове значення методичних погрешностей яркісних пірометрів залежно від використання формул Віна або Планка.

Помітимо, що обидва сімейства кривих (рис. 1, 2) для законів Віна й Планка ідеалізовані, тому що відносяться до монохроматичного випромінювання, однак вони корисні для встановлення загальних за-

кономірностей зміни методичних погрешностей яркісних пірометрів, особливо при великих значеннях T і λ і малих значеннях ϵ_{λ} .

Аналіз графічних залежностей (рис. 1, 2) показує, що методичні погрешності яркісних пірометрів у сильному ступені залежать від використовуваної області спектра: чим менше ефективна довжина хвилі λ , тим нижче, при рівних ϵ_{λ} , методична погрешність для однієї й тої ж вимірюваної температури. У міру переходу до більших довжин хвиль методичні погрешності зростають. Так, наприклад, поправка на відступ від формули Планка, що виражається

відмінністю рівнянь (5) і (6) і різницею ординат кривих (рис. 1, 2) законів Віна й Планка, при температурі 2000°C і довжині хвилі 0,65 мкм становить 0,001%. Однак при переході в інфрачервону область спектра виправлення істотно зростає й досягає 15% при $\lambda = 2,5$ мкм і тій же температурі.

Для більшості промислових вимірювань температури при ефективних довжинах хвиль до 4 мкм при розрахунку методичних погрешностей яркісних параметрів можна користуватися формулою (5). При вимірюванні більш високих температур, особливо при використанні інфрачервоної області спектра, коли формула Віна недостатньо точна, необхідно використовувати формулу (6), засновану на законі Планка.

Висновки

На закінчення необхідно відзначити, що поправки, необхідні для переходу від обмірюваної

яркісним пірометром температури T_y до істинної T , дуже великі й зневажати ними неприпустимо, тому що вони значно перевищують погрешності температурного контролю [3].

Список літератури

1. Поскачей А.А., Чубаров Е.П. *Опτικο-електронные системы измерения температуры*. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 344 с.
2. Мирошников М.М. *Теоретические основы опτικο-електронных приборов*. – Л.: Машиностроение, 1983. – 362 с.
3. Киренков И.И. *Метрологические основы оптической пирометрии*. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 248 с.

Надійшла до редколегії 16.11.2007

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. Є.Д. Прилепський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.