УДК 389.1

О.О. Бабич, Н.М. Александрова

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗКОНТАКТНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НАГРІТИХ ТІЛ

Досліджений вплив випромінювальної здатності об'єкту на свідчення пірометрів різних типів. Розроблені рекомендації по вибору типу пірометра для вимірювання температури.

Ключові слова: *випромінення, закон, енергія, тепло, температура, хвиля, коефіцієнт.*

Вступ

Постановка задачі. Високі вимоги, що пред'являються до сучасних технологічних процесів, вимагають застосування безконтактних методів температурного контролю. У сьогодення час є широкий асортимент засобів безконтактного вимірювання температури, під яким більшість користувачів розуміють пірометри. Тому розробка рекомендацій по вибору типу пірометра для вимірювання температури у різних галузях є актуальною задачею промисловості.

Аналіз літератури. У відомій літературі [1 – 5] наведені основні принципи побудови пірометрів, характеристики та фазичні принципи, що покладені у основу їх конструктивного складу. В [1] наведено геометричні параметри опису процесу відбивання від поверхні. В [2] описан зв'язок між різними видами коефіцієнтів відбивання та коефіцієнтами яскравості. В [3] розглянути принципи дії пірометрів В [4] надані залежності коефіцієнта променевої здатності тіла від температури. В [5] надані основні поняття пірометрії, не визначаються безконтактні методи вимірювання температури тіл.

Мета статті: визначення безконтактних методів замірювання температури нагрітих тіл.

Основний матеріал

У основу методів температурного контролю покладені залежності величини потоку випромінювання і спектрального розподілу енергії випромінювання від температури нагрітого тіла [1]. Ці залежності для абсолютно чорного тіла описуються рівняннями Планка, Вина, Стефана-Больцмана [2]:

$$B_{O\lambda T} = \frac{c_1\lambda^{-5}}{\pi}\left(\exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right)-1\right); \qquad (1)$$

$$B_{O\lambda T} = \frac{c_1\lambda^{-5}}{\pi}\exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right); \qquad (2)$$

$$B_{OT} = \frac{\sigma}{\pi}T^4, \qquad (3)$$

де $B_{\hat{I}\ \lambda T}$ – спектральна енергетична яскравість; B_{OT} – інтегральна енергетична яскравість; T – температура; $\tilde{n}_1 = 3,7413\cdot 10^{-2}$ Вт см^2; $\sigma = 5,6686\ 10^{-12}$ Вт/см^{2}град^4; $\tilde{n}_2 = 1,438$ см град; λ – довжина хвилі випромінювання, мкм. За принципом дії пірометри поділяють на квазімонохроматичні (яскравість), спектрального відношення (колірні), повного випромінювання (радіаційні) [1, 2].

При вимірюванні температури реальних тіл пірометрів випромінювання надається значення умовною або псевдо-температури, яка носить назву, колірної або радіаційної температури яскравості [1, 2]. Розбіжність між умовною та істиною температурою тіла є методичними похибками пірометрів. Градуювання пірометрів випромінювання проводять відповідно випроміненню абсолютно чорного тіла [1, 2], тому фізичною основою методичних похибок всіх без виключення пірометрів є відмінність випромінювання всіх реальних тіл від випромінювання абсолютно чорного тіла, що відповідно до закону Кирхгофа може бути враховане через коефіцієнт випромінювальної здатності реального тіла [2, 3]:

При отриманні достовірних результатів вимірювання температури пірометром необхідне попереднє вивчення спектральної характеристики випромінювання об'єкту, а вживаний пірометр повинен забезпечити мінімум методичних похибок.

Відомо, що основна методична похибка свідчень різних типів пірометрів визначається непостійністю коефіцієнтів випромінювальної здатності різних матеріалів. Проведемо узагальнювальний аналіз впливу коефіцієнтів випромінювальної здатності на свідчення пірометрів: квазімонохроматичних, спектрального відношення, повного випромінювання стосовно квазімонохроматичного пірометру.

Оскільки пірометр градуйований по випромінюванням абсолютного чорного тіла, то він покаже температуру яскравості абсолютного чорного тіла, при якій спектральні енергетичні яскравості реального тіла і абсолютно чорного тіла будуть рівні. З виразу (4) обчислимо поправку ΔT, яку необхідно додавати до зміряної квазімонохроматичним пірометром температурі яскравості для отримання дійсної температури тіла:

$$\Delta T = T - T_я = \frac{\alpha T_я}{1-\alpha T_я}, \qquad (4)$$

де $\alpha = -\frac{\lambda}{C_2}\ln\varepsilon_{\lambda T}$.

© О.О. Бабич, Н.М. Александрова

При відомих значеннях $\varepsilon_{\lambda T}$ и λ знаходиться коефіцієнт α та поправка до температури яскравості.

Відомо, що похибка вимірювання для пірометрів спектрального відношення обумовлена невизначеністю співвідношення коефіцієнтів випромінювальної здатності тіла при двох довжинах хвиль[3]. Оскільки пірометр градуйований по випромінюванням абсолютно чорного тіла, він буде показувати колірну температуру абсолютно чорного тіла, при якій відношення спектральних енергетичних яскравостей реального тіла і абсолютно чорного тіла співпадають. З урахуванням закону Кірхгофа і використовуючи закон Віна поправка для зміряної пірометром колірної температури визначається наступним чином[4]:

$$\Delta T = T_ц - T - \frac{\alpha T_ц^2}{1 + \alpha T_ц}, \qquad (5)$$

де $\alpha = \frac{1}{C_2} \cdot \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)} \ln \frac{\varepsilon_{\lambda_2}}{\varepsilon_{\lambda_1}}$.

Для визначення дійсної температури до зміряної пірометром колірної температури необхідно знати довжину хвиль і відношення коефіцієнтів чорноти при цієї довжини хвиль стосовно пірометрів повного випромінювання.

У пірометрі повного випромінювання температура тіла відображається відповідно до інтегральній енергетичній яскравості випромінювання. Оскільки пірометр відградуірований за випромінюванням абсолютно чорного тіла, то при вимірюванні він покаже радіаційну температуру чорного тіла, при якій інтегральні енергетичні яскравості реального тіла і абсолютно чорного тіла рівні. Тоді з урахуванням закону Кірхгофа і закону Стефана-Больцмана може бути визначена поправка ΔT, яку необхідно додавати до зміряної пірометром повного випромінювання радіаційній температурі для отримання дійсної температури тіла:

$$\Delta T = T_\rho \left(1 / \sqrt[4]{\varepsilon T}\right). \qquad (6)$$

Наведені вище формули (4), (5), (6) дають деякі порівняльні уявлення щодо характеру і числового значення методичних похибок базових типів пірометрів.

Квазімонохроматичні пірометри застосовуються як у видимій, так і в ІЧ-областях спектру [5]. Проте, відмінність температури яскравості від істинної будуть більше при вимірюваннях в ІЧ-області, чим при вимірюваннях у видимій області. Це пояснюється тим, що коефіцієнт випромінювальної здатності, а ІЧ-області зменьшується із збільшенням довжини хвилі, отже, різниця $E - E_я$ пропорційна довжині хвилі. Методичні похибки цих пірометрів при вимяряних в ІЧ-області зростають в 2-5 разів в порівнянні з вимірюваннями у видимій області спектру. Без урахування поправок квазімонохроматичні пірометри придатні тільки для грубих вимірювань. Методичні похибки колірних пірометрів пов'язані не з абсолютними значеннями коефіцієнтів випромінювання, а з відношенням $\varepsilon_{\lambda_2} / \varepsilon_{\lambda_1}$ цих коефіцієнтів у двох використовуваних у областях спектру.

Як випливає з порівняння поправок щодо колірних і квазімонохроматичних пірометрів, відхилення від одиниці відношення коефіцієнтів випромінювання викликає методичну похибку кілька разів більшу, ніж похибка квазімонохроматичних пірометрів при тому ж відхиленні від одиниці коефіцієнта випромінювання у частині спектру, що використовується, у зв'язку з цим доцільно застосування колірних пірометрів що засновані на припущенні, що коефіцієнти випромінювання реального розжареного тіла в двох областях спектру близькі між собою та їх відношення залишається стабільним. Пірометри повного випромінювання доцільно застосовувати для вимірювання температури об'єкту, у якого іонохроматичний коефіцієнт випромінювальної здібності щодо різних довжин хвиль практично однаковий.

Висновок

1. Отримані залежності методичних похибок пірометрів різних типів визначають безконтактні методи вимірювання нагрітих тіл шляхом оцінки впливу коефіцієнтів випромінювання на свідчення пірометрів, введення температурної корекції у результати вимірювання, визначення умови застосовності даного типу пірометра для визначення дійсної температури нагрітих тіл.

2. При рівних значеннях коефіцієнтів випромінювання і температурах нижче 3000°С методичні похибки пірометрів повного випромінювання вище похибок квазімонохроматичних пірометрів, що використовують видиму або ближню ІЧ-частину спектру.

3. При переході до великих довжин хвиль методичні похибки квазімонохроматичних пірометрів зростають і становлять більше похибок пірометрів повного випромінювання.

Список літератури

1. *Поськачей А.А. Оптико-электронні системи вимірювання температури / А.А. Поськачей, Е.П. Чубаров. – М.: Енергоатоміздат,1988. – 340 с.*
2. *Мірошников М.М. Теоретичні основи оптикоприборов / М.М. Мірошников. – Л.: Машиностроение, 1983. – 360 с.*
3. *Гордов А.Н. Основи пірометрії / А.Н. Гордов. – М.:Металургия, 1971. – 240 с.*
4. *Прилади і методи температурних вимірювань / Б.Н. Олейник, С.І. Лаздіна, В.П. Лаздін, О.М. Жагулла. – М.: Изд-во стандартів, 1987. – 144 с.*
5. *Гордов А.Н. Пірометрія (неконтактні методи). Навчальний посібник / А.Н. Гордов. – Л.: Літмо. 1983. – 220 с.*

Надійшла до редколегії 22.02.1011

Рецензент: канд. техн. наук, доц. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОНТАКТНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕТЫХ ТЕЛ

О.О. Бабич, Н.М. Александров

Исследовано влияние излучательной способности объекта на свидетельство пирометров разных типов. Разработаны рекомендации по выбору типа пирометра для измерения температуры.

Ключевые слова: *закон, энергия, тепло, температура, волна, коэффициент.*

APPLICATION OF METHODS OF MEASURING OF TEMPERATURE OF THE HEATED BODIES.

O.O. Babich, N.M. Aleksandrova

Influence of a radiate ability of object is investigational on the certificate of pyrometers of different types. Developed recommendation on the choice of type of pyrometer for measuring of temperature.

Keywords: *law, energy, warmly, temperature, wave, coefficient,*