

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 536.521

Б. Ю. Гриневич, к. т. н., доц.

СПОСОБИ ПРОВЕДЕННЯ ПІРОМЕТРИЧНИХ ВІМІРЮВАНЬ

Розглянуто особливості застосування тестових методів для обробки результатів вимірювання в пірометрії випромінювання.

Вступ

Пірометри — безконтактні засоби вимірювання температури як і раніше є незамінними елементами систем контролю і управління в цілій низці галузей промисловості — металургійної, хімічної, машинобудівної, електронної, медико-біологічної. Їм немає альтернативи у вимірюванні температури рухомих, труднодоступних або розташованих в небезпечних зонах об'єктів.

Для пірометрів залежність вимірюваної температури T від густини потоку випромінювання об'єкта B_0 згідно закону Стефана–Больцмана описується формулою $B_0 = \varepsilon\sigma T^4$, тобто необхідно достовірно знати не тільки B_0 , але і випромінювальну здатність поверхні об'єкта ε . Проаналізувавши стан ринкової тенденції виробництва засобів пірометрії, встановлено, що уваги цьому аспекту приділяється щораз менше. За замовчуванням в приладах приймається значення для $\varepsilon = 0,97$, як сказано «для більшості матеріалів». Стан поверхні залежний від зовнішніх впливів (атмосферних факторів, корозії, загороженості, зміни дифузності поверхні від температури) та змінюється в часі. Крім того, вибір значення ε має бути пов'язаний із довжиною хвилі, на якій працює пірометр. Важливе значення має і стан прозорості середовища між об'єктом і пірометром, що також впливає на результат вимірювання. Для визначення цих величин в статті запропоновано використати тестовий метод.

Розв'язання задачі

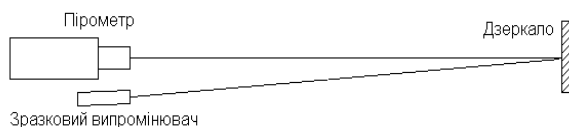
Можна використати мультиплікативні тести з послабленням потоку випромінювання з відомим коефіцієнтом [1]. Реалізуються ці вимірювання за допомогою введення нейтральних поглинаючих світлофільтрів. За рахунок цього буде змінена апаратна функція пірометра і це, відповідно, приведе до зміни вихідного сигналу приймача. Провівши три вимірювання потоку випромінювання об'єкта — без фільтра, з першим (τ_1) та другим (τ_2) фільтрами, отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} U_1 = a_0 + a_1 B_0; \\ U_2 = a_0 + a_1 B_0 \tau_1; \\ U_3 = a_0 + a_1 B_0 \tau_2, \end{cases} \quad (1)$$

де U — уніфікований сигнал пірометричного перетворювача або приймача, B_0 — густина потоку випромінювання, τ_1, τ_2 — відомі коефіцієнти пропускання нейтральних світлофільтрів, a_0 — адитивна складова сигналу, зумовлена різними елементами системи вимірювання, a_1 — коефіцієнт, який враховує мультиплікативні зміни в залежності від рівня оптичного випромінювання.

Розв'язання системи рівнянь можливе тільки алгебраїчним способом з певною похибкою і дозволить визначити B_0 і відповідно T , якщо відоме значення ε .

Якщо перше вимірювання провести, перекривши об'єктив пірометра дзеркальним відбивачем і спрямувавши на нього потік від зразкового джерела з відомими характеристиками (рис.), тобто температурою і випромінювальною здатністю, а два наступні — як в попередньому випадку, отримаємо:



$$\begin{cases} U_1 = a_0 + a_1 B_{зр} \\ U_2 = a_0 + a_1 B_0 \tau_1, \\ U_3 = a_0 + a_1 B_0 \tau_2 \end{cases} \quad (2)$$

Вимірювання потоку зразкового джерела

де $B_{зр}$ — густина потоку випромінювання зразкового джерела.

Тоді система буде мати аналітичний розв'язок щодо значень:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{U_2 \tau_2 - U_1 \tau_2 - \tau_1 U_3 + \tau_1 U_1}{B_{зр} (\tau_1 - \tau_2)}; \\ a_1 &= \frac{\tau_1 U_3 - \tau_2 U_2}{\tau_1 - \tau_2}; \\ B_0 &= \frac{B_{зр} (U_2 - U_3)}{U_2 \tau_2 - U_1 \tau_2 - \tau_1 U_3 + \tau_1 U_1}. \end{aligned} \quad (3)$$

Якщо використати адитивний тест з відбитим променем від джерела з відомими характеристиками, отримаємо незалежність і від ϵ .

$$\begin{cases} U_1 = a_0 + a_1 B_0; \\ U_2 = a_0 + a_1 B_0 \tau_1; \\ U_3 = a_0 + a_1 B_0 \tau_2; \\ U_4 = a_0 + a_1 (B_0 + B_{зр}). \end{cases} \quad (4)$$

Використавши закон Стефана–Больцмана, отримаємо систему:

$$\begin{cases} U_1 = a_0 + a_1 \epsilon \sigma T^4; \\ U_2 = a_0 + a_1 \epsilon \sigma T^4 \tau_1; \\ U_3 = a_0 + a_1 \epsilon \sigma T^4 \tau_2; \\ U_4 = a_0 + a_1 (\epsilon \sigma T^4 + \epsilon_{відб} \sigma T_{зр}^4), \end{cases} \quad (5)$$

де $\epsilon_{відб}$ — коефіцієнт відбивання поверхні об'єкта, за умови непрозорості матеріалу на робочій довжині хвилі пірометра.

Використовуючи твердження, що коефіцієнт випромінювання і поглинання для певного матеріалу є однаковий і за умови непрозорості об'єкта в об'єктиві пірометра буде присутня відбита від поверхні об'єкта частина випромінювання з коефіцієнтом $\epsilon_{відб} = 1 - \epsilon$ і система набуде вигляду:

$$\begin{cases} U_1 = a_0 + a_1 \epsilon \sigma T^4; \\ U_2 = a_0 + a_1 \epsilon \sigma T^4 \tau_1; \\ U_3 = a_0 + a_1 \epsilon \sigma T^4 \tau_2; \\ U_4 = a_0 + a_1 (\epsilon \sigma T^4 + (1 - \epsilon) \sigma T_{зр}^4). \end{cases} \quad (6)$$

Розв'язання системи дасть значення температури і випромінювальної здатності поверхні:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{U_2 \tau_2 - \tau_1 U_3}{\tau_2 - \tau_1}; \\ a_1 &= \frac{\tau_2 U_4 + \tau_2 U_1 + 2\tau_1 U_3 - \tau_1 U_1 + U_2 - U_3 - 2U_2 \tau_2 - \tau_1 U_4}{\sigma T_{зр}^4 (\tau_2 - \tau_1)}; \\ T^4 &= \frac{T_{зр}^4 (U_2 - U_3)}{U_2 \tau_2 - U_1 \tau_2 - \tau_1 U_3 + \tau_1 U_1}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{U_2\tau_2 - U_1\tau_2 + \tau_1U_1 - \tau_1U_3}{\tau_2U_4 + \tau_2U_1 + 2\tau_1U_3 - \tau_1U_1 + U_2 - U_3 - 2U_2\tau_2 - \tau_1U_4}.$$

Основною вимогою для реалізації такого методу є відповідність ефективної довжини хвилі пірометра спектральному складу випромінювання зразкового джерела.

При дифузності поверхні умови змінюються і вираз для коефіцієнту відбивання $\varepsilon_{\text{відб}} = 1 - \varepsilon - \varepsilon_{\text{диф}}$, де $\varepsilon_{\text{диф}}$ — коефіцієнт, що враховує розсіювання променя зразкового джерела на поверхні об'єкта. Система (4) втрачає сенс, оскільки з'являється ще одна невідома величина. Організувати вимірювання таким чином, щоб $\varepsilon_{\text{диф}}$ і $\varepsilon_{\text{відб}}$ потрапили в різні вирази, тобто розділити дзеркальне і дифузне відбивання зразкового променя, неможливо. Отже вимірювання за системою (4) можливі тільки для дзеркальних поверхонь об'єктів. Якщо провести додаткові дослідження і визначити $\varepsilon_{\text{диф}}$, система рівнянь набуде вигляду:

$$\begin{cases} U_1 = a_0 + a_1\varepsilon\sigma T^4; \\ U_2 = a_0 + a_1\varepsilon\sigma T^4\tau_1; \\ U_3 = a_0 + a_1\varepsilon\sigma T^4\tau_2; \\ U_4 = a_0 + a_1\left(\varepsilon\sigma T^4 + (1 - \varepsilon - \varepsilon_{\text{диф}})\sigma T_{\text{зр}}^4\right). \end{cases} \quad (8)$$

Розв'язання системи:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{U_2\tau_2 - \tau_1U_3}{\tau_2 - \tau_1}; \\ a_1 &= \frac{2\tau_1U_3 - \tau_1U_1 + \tau_2U_4 + \tau_2U_1 - U_3 - U_4\tau_1 - 2\tau_2U_2 + U_2}{\sigma T_{\text{зр}}^4 (\tau_2 - \tau_2\varepsilon_{\text{диф}} - \tau_1 + \tau_1\varepsilon_{\text{диф}})}; \\ T^4 &= \frac{T_{\text{зр}}^4 (U_2 - U_3)}{U_2\tau_2 - U_1\tau_2 - \tau_1U_3 + \tau_1U_1}; \\ \varepsilon &= \frac{(U_2\tau_2 - U_1\tau_2 + \tau_1U_1 - \tau_1U_3)(\varepsilon_{\text{диф}} - 1)}{\tau_1U_1 - \tau_2U_4 - \tau_2U_1 - 2\tau_1U_3 + U_3 + 2U_2\tau_2 + \tau_1U_4}. \end{aligned} \quad (9)$$

Якщо зразковим джерелом є лазерний випромінювач, то виникає проблема деполаризації променя. Щоб максимально наблизити лазерний промінь до некогерентного теплового випромінювання, використовують систему дзеркал [2] або деполаризаторів на основі волоконної оптики чи клиноподібного кварцового скла [3].

Доцільно також використати модуляцію сигналів. Системи рівнянь дещо ускладняться, але результат буде спрощений. Ці питання будуть розглянуті в подальших роботах.

Висновки

Розглянуто особливості застосування тестових методів для обробки результатів вимірювання в пірометрії випромінювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бромберг Э. М. Тестовые методы повышения точности средств измерений / Э. М. Бромберг, К. Л. Куликовский — М.: Энергия, 1978.
2. Traverse J. P. Measure des temperatures dans des conditions differences du corps noir / Traverse J. P., Foex M. — Proc. Soc. Franc. des Electronic et Radioelectric. — 1970. — Т. 79, № 10. — Р. 816—821.
3. Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми і перспективи : III Міжнародна науково-технічна конференція [Електронний ресурс]. — Кафедра електротехніки Тернопільського державного технічного університету. — Режим доступу до ресурсу: <http://www.tu.edu.te.ua/conferences/light/regform.php>.

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики

Надійшла до редакції 21.10.08
Рекомендована до друку 20.11.08

Гриневич Богдан Юрійович — доцент кафедри метрології, стандартизації та сертифікації.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів