

УДК 7536.526.2;389.6

## ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВВЕДЕННЯ АПРІОРНИХ ПОПРАВОК ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ПРОМЕТРІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ

© Гриневич Б.Ю., Засименко В.М., Столярчук П.Г., 2000

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Метрологія, стандартизація і сертифікація”

На основі використання уточнених коефіцієнтів закону Планка проведено розрахунки ефективної довжини хвиль з урахуванням розкидів фільтрів та кривої видимості в діапазоні випромінювання 400-6000°С для візуальних пірометрів випромінювання у видимій та ближній до інфрачервоної ділянках спектра. Розраховано похибки апостеріорних поправок на випромінювальну здатність, викликаних розкидами ефективних довжин хвиль. Доведено доцільність апріорного введення згаданих поправок і метод реалізації для візуальних пірометрів.

On the basis of usage of the Planck law updated factors, the calculations of an effective length of surges with allowance of filters spreads and visibility curve in radiation band 400-6000°С for visual radiation pyrometers in visible and short-range to infra-red areas of a spectrum are conducted. The errors aposteriori of allowances for existance called in spreads of effective lengths surges are counted. The expediency of the prior introducing of the indicated corrections and method of implementation for visual pyrometers is demonstrated.

Візуальні пірометри випромінювання є найпоширенішими засобами безконтактного вимірювання температури в багатьох галузях науки, техніки, промисловості. У методі вимірювання температури закладено врахування поправки на випромінювальну здатність об'єкта вимірювання, яке відбувається після операції фотометрування під час переходу від вимірюваної умовної температури до дійсного її значення. Вимірювана при цьому умовна яскравісна температура  $T_y$  дорівнює дійсній температурі  $T$  тільки для абсолютно чорних тіл. Перехід до дійсної температури для реальних об'єктів проводиться, здебільшого, апостеріорно без урахування похибки апроксимації за допомогою розв'язання трансцендентного рівняння:

$$\frac{1}{T} \approx \frac{1}{T_y} + \frac{\lambda_{\text{эф}}(T)}{C_2} \cdot \ln \varepsilon(\lambda_{\text{эф}}, T), \quad (1)$$

де  $\lambda_{\text{эф}}(T)$  – ефективна довжина хвилі як функція від вимірюваної температури;  $\varepsilon(\lambda_{\text{эф}}, T)$  – випромінювальна здатність як функція від ефективної довжини хвилі і від вимірюваної температури.

Тому апостеріорна поправка на випромінювальну здатність, що вводиться після вимірювання температури, є наближена. Це впливає з формули (1), тобто:

$$\Delta T = T - T_y \approx -\frac{T^2 \lambda_{\text{эф}}(T)}{C_2} \cdot \ln \varepsilon(\lambda_{\text{эф}}, T), \quad (2)$$

Наведені рівняння справедливі тільки коли номінальна статична характеристика (НСХ) апроксимується законом Віна.

Вважатимемо, що основним джерелом похибки на поправку  $\Delta T$  згідно з виразом (2) є зміна ефективної довжини хвилі у вибраному піддіапазоні температур, оскільки для кожного з  $i$ -го діапазонів ( $T_{hi} \rightarrow T_{vi}$ ) вона може бути вибрана як середня.

Вираз для ефективної довжини хвилі, що випливає із закону Віна, є наближенням:

$$\lambda_{\text{еф}} \approx \frac{C_2 \left( \frac{1}{T_{vi}} - \frac{1}{T_{hi}} \right)}{\ln J(T_{hi}) - \ln J(T_{vi})}, \quad (3)$$

$$\text{де } J(T_i) = \int_0^{\infty} \Psi(\lambda) \cdot B_0(\lambda, T_i) d\lambda; \quad (4)$$

$\Psi(\lambda)$  – апаратна функція;  $B_0(\lambda, T_i)$  – спектральна інтенсивність потоку випромінювання при температурі  $T_i$ , яка описується законом Планка.

Для визначення ефективної довжини хвилі використовували формулу:

$$\lambda_{\text{еф}} \approx \frac{\int_0^{\infty} \Psi(\lambda) \cdot B_0(\lambda, T) d\lambda}{\int_0^{\infty} \lambda^{-1} \cdot \Psi(\lambda) \cdot B_0(\lambda, T) d\lambda}, \quad (5)$$

Представляючи апаратну функцію як добуток кривої видимості людського ока  $V(\lambda)$  і пропускання  $\tau(\lambda)$  червоного фільтра типу КС-15, отримали залежність  $\lambda_{\text{еф}} = f(T)$  (при уточнених коефіцієнтах  $C_1$  і  $C_2$  для розкидів  $\tau(\lambda)$  за типами й товщиною червоних фільтрів та розкидів  $V(\lambda)$  за суб'єктивним впливом), згідно з якою вираховували  $\lambda_{\text{еф.сер}}$  для кожного піддіапазону температур конкретного типу візуального пірметра.

Середні значення для конкретного типового піддіапазону отримаємо з виразу

$$\lambda_{\text{еф.сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n} \quad (6)$$

Аналіз похибки апостеріорної поправки на випромінювальну здатність проводили, диференціюючи вираз (2) за  $\lambda_{\text{еф}}$ , із врахуванням (5) при уточнених коефіцієнтах  $C_1$  і  $C_2$  закону Планка за формулою:

$$\Delta(\Delta T) \approx - \frac{T^2 \cdot \Delta \lambda_{\text{еф.сер}}(T)}{C_2} \cdot \ln \varepsilon(\lambda_{\text{еф}}, T). \quad (7)$$

Вказану похибку слід вважати поправкою апроксимації, оскільки вона впливає з характеру апроксимації НСХ [1,3]. При апостеріорних введеннях поправок на випромінювальну здатність для візуальних пірметрів користуються літературними даними при ефективній довжині хвилі  $0,65 \pm 0,01$  мкм. Це спричиняє значну похибку. Врахувавши усі фактори впливу, отримаємо функціональну залежність похибки введення поправки:

$$\Delta(\Delta T) = f[T, T_{hi}, T_{vi}, \overline{\lambda_{\text{еф}}}, \Delta \lambda_{\text{еф}}, \Delta C_2, \varepsilon(\overline{\lambda_{\text{еф}}}, T), \tau(\lambda, d), V(\lambda, t)] \quad (8)$$

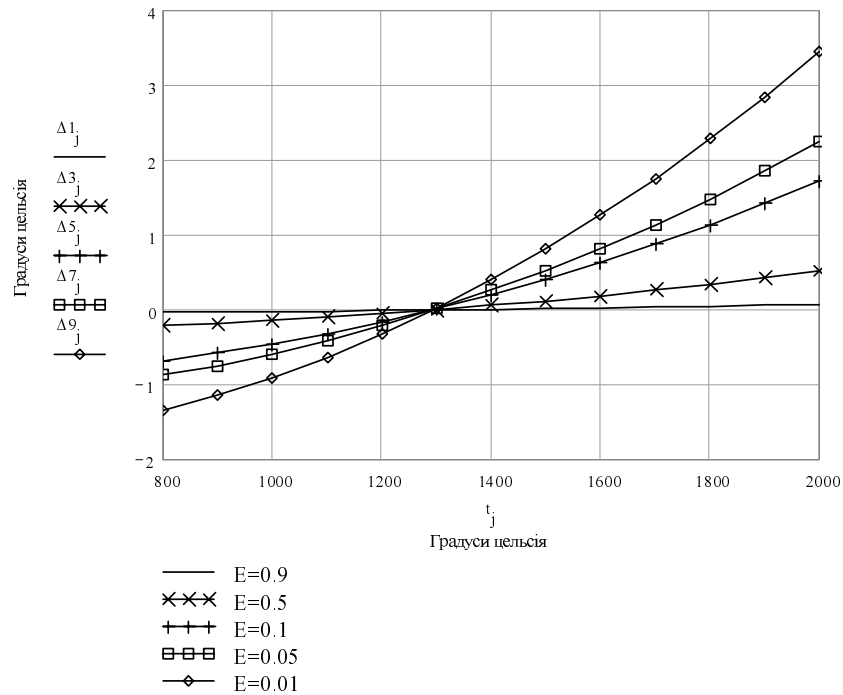


Рис.1. Залежність похибки введення поправки від вимірювальної температури при різних випромінювальних здатностях об'єкта для промислового пірометра типу ОПІР-017 ( $T_H = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_B = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\overline{\lambda_{\text{эф}}} = 0,6653 \text{ мкм}$ ;  $C_2 = 1,4387869 \text{ см}\cdot\text{K}$ ).

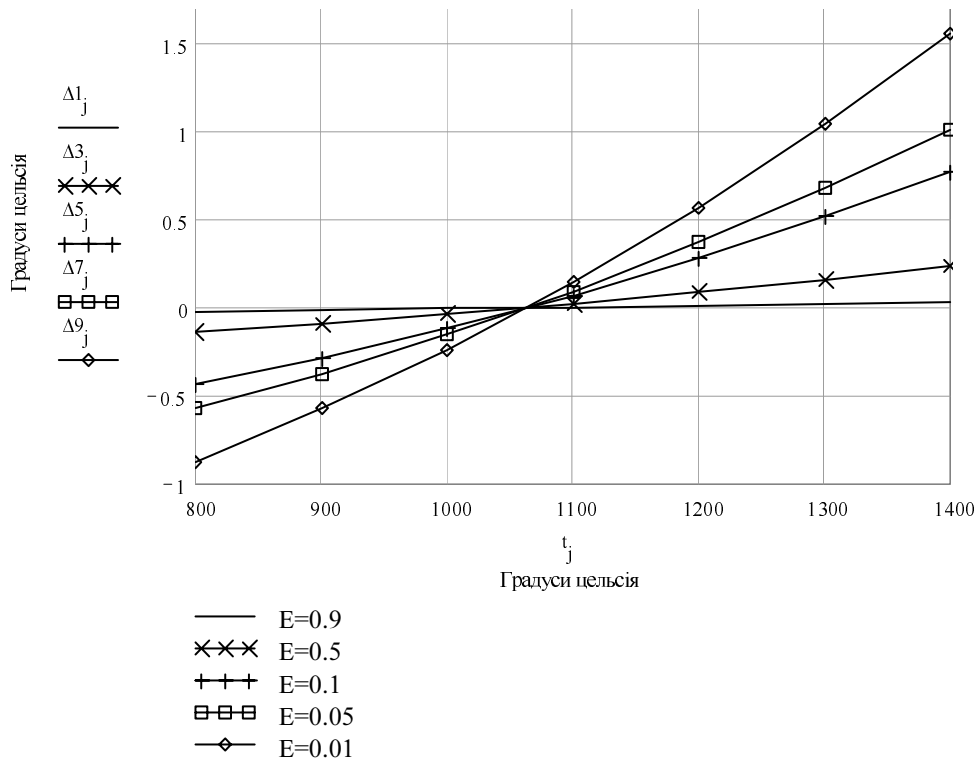


Рис. 2. Залежність похибки введення поправки від вимірювальної температури при різних випромінювальних здатностях об'єкта для пірометра типу Промінь-М ( $T_H = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_B = 1400 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\overline{\lambda_{\text{эф}}} = 0,6666 \text{ мкм}$ ;  $C_2 = 1,4387869 \text{ см}\cdot\text{K}$ ).

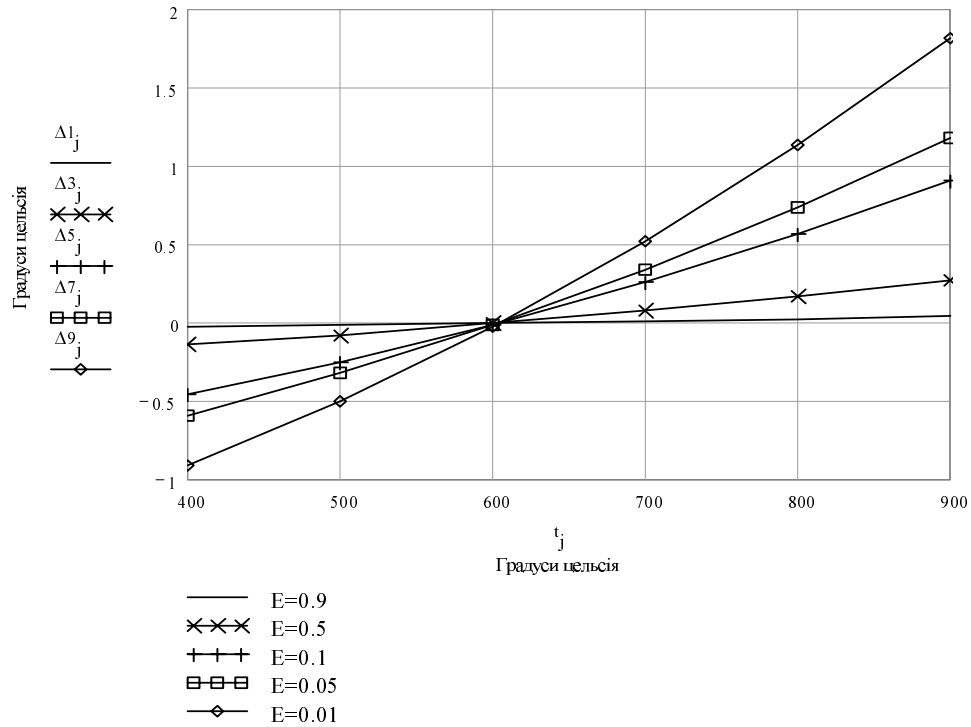


Рис 3. Залежність похибки введення поправки від вимірювальної температури при різних випромінювальних здатностях об'єкта для пірометра типу ВІМР-015 ( $T_H = 400^\circ\text{C}$ ;  $T_B = 900^\circ\text{C}$ ;  $\lambda_{\text{эф}} = 0,6721\text{мкм}$ ;  $C_2 = 1,4387869 \text{ см}\cdot^\circ\text{К}$ ).

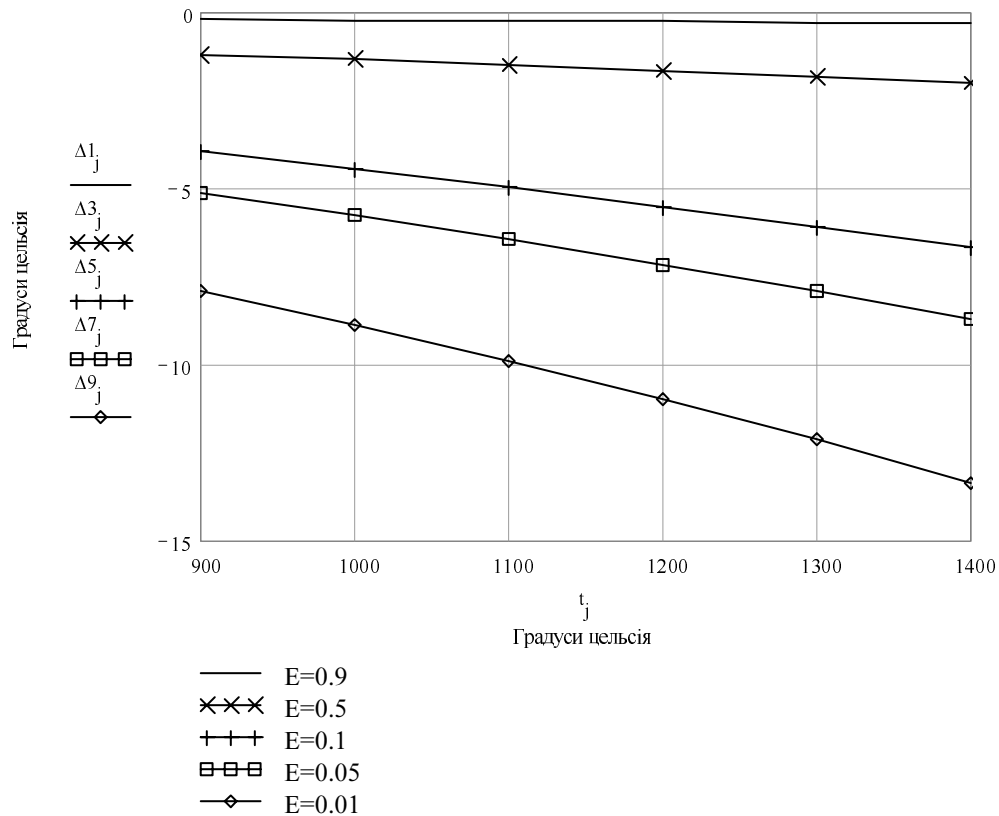


Рис 4. Залежність похибки введення поправки від вимірювальної температури при різних випромінювальних здатностях об'єкта для пірометра типу ЕОП-66 ( $T_H = 40^\circ\text{C}$ ;  $T_B = 900^\circ\text{C}$ ;  $\lambda_{\text{эф}} = 0,65\text{мкм}$  (за розрахунком  $\lambda_{\text{эф}} = 0,6662 \text{ мкм}$ );  $C_2 = 1,4387869 \text{ см}\cdot^\circ\text{К}$ ).

Згідно із (7) доходимо висновку, що похибка промислового візуального пірометра визначається :

- 1) похибкою апроксимації НСХ;
- 2) розкидом ефективної довжини хвилі, зокрема розкидами світлофільтрів і кривої видимості ока;
- 3) недостовірними даними про випромінювальну здатність при використуванні ефективній довжині хвилі;
- 4) допустимою похибкою коефіцієнта  $C_2$ .

Окремі функціональні залежності виразу (8) при різних  $\varepsilon(\lambda_{ef}, T)$  для промислових приладів наведено на рис.1-5.

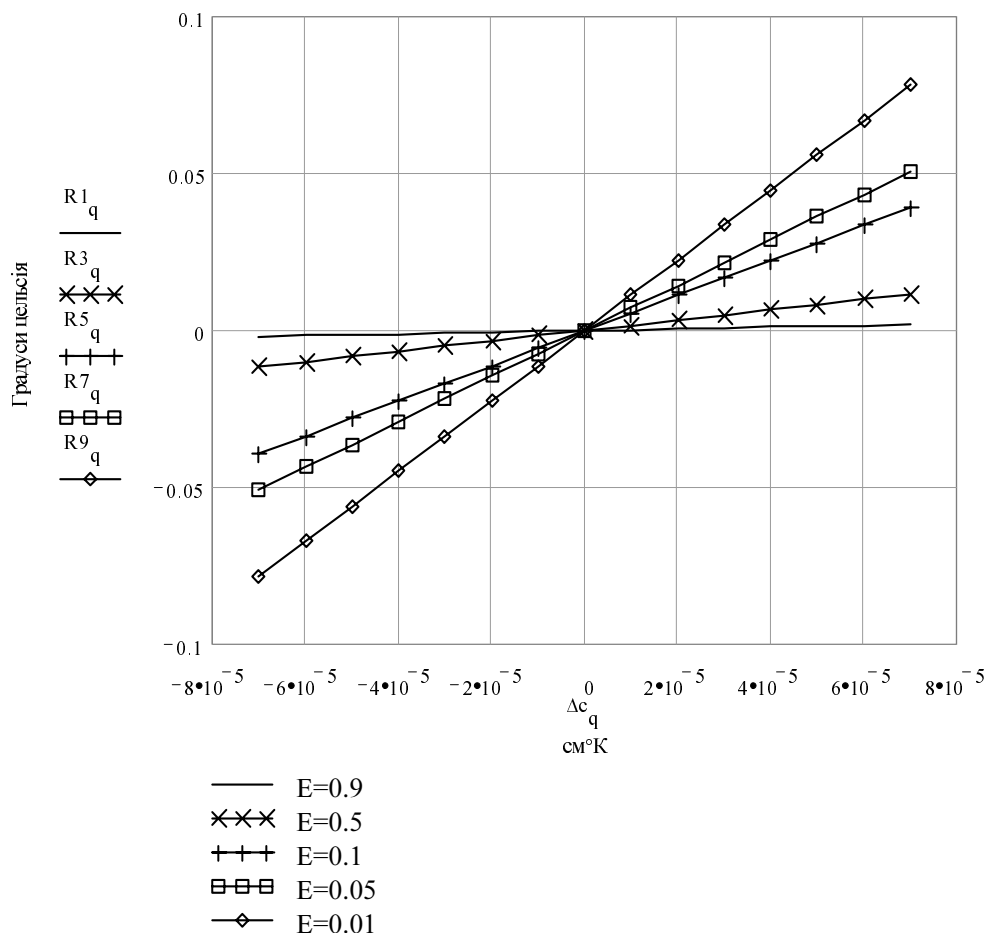


Рис 5. Залежність похибки введення поправки від розкиду коефіцієнта  $C_2$  при різних випромінювальних здатностях об'єкта для пірометра

ЭОП - 66 ( $T_H=900^\circ\text{C}$  ;  $T_B=1400^\circ\text{C}$  ;  $T=900^\circ\text{C}$  ;  $\overline{\lambda_{ef}} = 0,65 \text{ мкм}$ ;  $C_2= 1,4387869 \text{ см}\cdot^\circ\text{К}$ )

Для прецизійних пірометрів, в тому числі для еталонних візуальних пірометрів та зразкових першого порядку типу ЭОП - 066 для мінімізації похибки введення поправки важливе значення має правильність використання коефіцієнта  $C_2$ . Абсолютне значення цієї додаткової похибки визначали за формулою:

$$\Delta_g(\Delta T) \approx -\frac{T^2 \cdot \Delta \lambda_{\text{эф}}}{C_2^2} \cdot \Delta C_2 \cdot \ln \varepsilon(\lambda_{\text{эф}}, T) \quad (9)$$

Результати розрахунків наведено на рис.5.

З метою усунення розглянутих похибок введення поправок на випромінювальну здатність, що виражаються формулами (7), (8) і (9) для випадків, коли випромінювальну здатність вигляду  $\varepsilon(T)$  у формулі (4) можна винести за знак інтеграла, необхідно вводити апіорну мультиплікативну корекцію. Тоді НСХ такого пірометра матиме вигляд:

$$V_c = k(\varepsilon) \cdot \varepsilon(T) \cdot S \cdot \int_0^{\infty} \Psi(\lambda) \cdot B_0(\lambda, T_i) d\lambda, \quad (10)$$

де  $S$  – коефіцієнт перетворення в В·см<sup>2</sup>/Вт;  $\varepsilon(T)$  – випромінювальна здатність як функція від випромінюваної температури;  $k(\varepsilon)$  – апіорна мультиплікативна поправка на випромінювальну здатність об'єкта вимірювання. Остання вибирається так, щоби:

$$k(T) \cdot \varepsilon(\lambda_{\text{эф}}, T) \approx 1 \quad (11)$$

Тоді вирази (2), (7) і (9) набуватимуть нульового значення. Це своєю чергою приведе до мінімізації похибки введення поправки на випромінювальну здатність, коли розглянуті фактори виразу (8) найменше впливають на ефективну довжину хвилі, а отже, і на результат вимірювання. Ця особливість реалізується тільки при апіорному введенні поправки для вимірювань пірометрами, НСХ яких описується виразом (10).

1. Засименко В.М., Самченко Г.П. Состояние и тенденции развития переносных пирометров излучения. М., ЦНИИТЕИ приборостроения, 1987. 2. Засименко В.М., Самченко Г.П., Лах В.И. Критерии классификации пирометров излучения // Приборы и системы управления. 1981. № 10. С.18-19. 3. Засименко В.М. Анализ погрешностей передаточной функции пирометрического преобразователя в прямой цепи излучения // Контрольно-измерительная техника. 1983, №33. С.9-13. 4. Свет Д.Я. Оптические методы измерения истинных температур. М., 1982. 5. Свет Д.Я. Объективные методы высокотемпературной пирометрии при непрерывном спектре излучения. М., 1968.

УДК 621.374

## ЭКСПОНЕНЦИЙНЫЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОКРАЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ

© Горпенюк А.Я., Дудикевич В.Б., Лагун А.Е., 2000

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Автоматика і телемеханіка”

Наведено результати досліджень експоненційного функціонального перетворювача та подано рекомендації щодо підвищення його точності для структур різної розрядності; запропоновано структуру широкодіапазонного експоненційного перетворювача з покращеними метрологічними характеристиками.