

В. В. Савіна, Н. В. Сторожук

ГРАДУЮВАННЯ ШВИДКІСНОГО ОПТИЧНОГО ПІРОМЕТРА

У роботі досліджено можливість використання спіральної лампи для градуювання пірометра. Описано створену комп'ютерну модель для дослідження впливу спектральної чутливості фотодіода та випромінювальної здатності вольфраму на розподіл густини енергії випромінювання нагрітого тіла. Проведено уточнене градуювання швидкісного пірометра. За результатами комп'ютерної моделі, побудовано залежності вихідного сигналу швидкісного пірометра від температури. Проаналізовано експериментальні результати та результати комп'ютерної моделі.

Ключові слова: оптична пірометрія, детектор випромінювання, фотодіод, градуювання, спіральна лампа.

Вступ

При дослідженні фізичних властивостей речовин у задачах контролю теплових режимів різноманітних технологічних процесів першочергове значення мають температурні вимірювання, які на сьогодні складають близько 40% усіх вимірювань, які здійснюються в промисловості. У багатьох випадках необхідно здійснювати вимірювання температури важкодоступних технічних об'єктів, об'єктів, які знаходяться під електричним потенціалом, у радіоактивному або агресивному середовищі. Для цього доцільно використовувати безконтактні методи вимірювання температури, зокрема вимірювання температури за випромінюванням. У роботі докладно описано створений простий експресний метод градуювання швидкісного пірометра.

Розвиток пірометрії як науки розпочався з візуальної пірометрії, яка використовувала видиму ділянку спектра випромінювання, а приймачем випромінювання слугувало око людини. На основі часової ієрархії публікацій [1-5] на рис. 1 представлена історична послідовність розвитку пірометричних вимірювань.

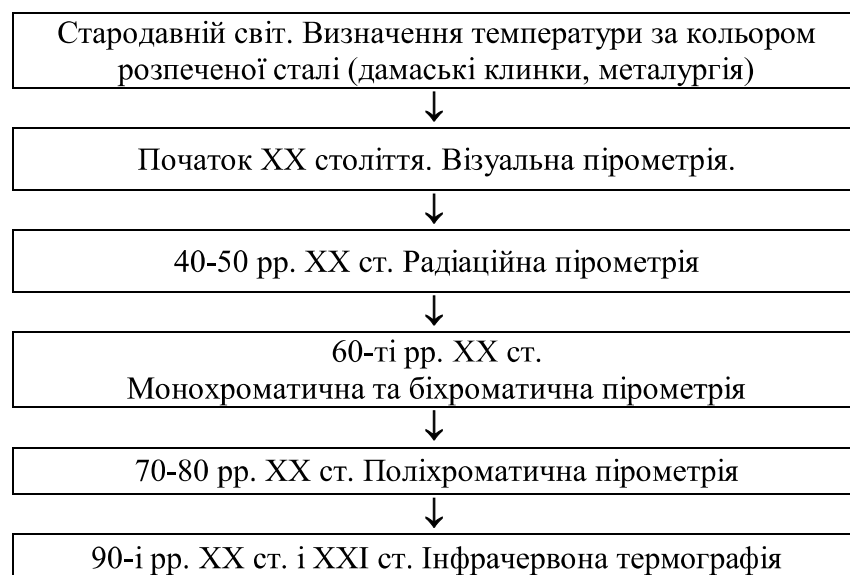


Рис. 1. Історична послідовність розвитку пірометрії

У пірометрії з самого моменту її появи і до наших днів використовується всього два основних методи вимірювання температури нагрітих тіл по випромінюванню: радіаційний та оптичний. З плином часу технологія вимірювання змінювалася і ускладнювалася, але основний принцип залишилася незмінним [6].

Сучасний поділ оптичної пірометрії на методи здійснюється за принципом сприйняття випромінювання в певному спектральному діапазоні та кількістю робочих спектральних каналів [6].

Розвиток безконтактних пірометрів почався ще в 60-ті роки попереднього століття, коли були зроблені певні відкриття в галузі фізики і виробництво і серійний випуск безконтактного пристосування став реальним. І з цього ж моменту у величезну кількість різноманітних виробництв стали впроваджуватися ці прилади, які одночасно із безпечною роботою могли забезпечити також ідеальну точність вимірів [7].

Принципом дії перших пірометрів було вимірювання температури об'єкта, який мав сильне теплове випромінювання і випускав яскраве світло. Але з плином часу і це змінилося, і на зміну тим приладам прийшов інфрачервоний пірометр, який може дозволити виміряти досить низькі, так і високі температури без необхідності контакту з предметом [7].

В даний час пірометром називається прилад, який дозволяє безконтактним способом точно визначити температуру непрозорих тіл. Принцип дії, як сучасних пірометрів, так і тих приладів, які використовувалися раніше, полягає у вимірюванні температури теплового потоку, який виходить від досліджуваного об'єкта. У свою чергу тепловий потік, який може бути вимірний повинен бути розташований в діапазоні інфрачервоного випромінювання видимого оком світла.

1. Проблема градування пірометра

Градування пірометра полягає у встановленні точної залежності величини його вихідного сигналу від температури світлого тіла (у нашій роботі це вихідна напруга підсилювача струму кремнієвого фотодіоду). Але при цьому, значення температури повинне бути відоме завдяки попередньому вимірюванню незалежним методом.

В якості еталона у роботі використовуються лампи розжарювання, тому доступ до спіралі неможливий через скляний балон. Щоб проградувати лампу розжарення (в нашому випадку світловимірювальну СІРШ 6-40 та спіральну 17 В – 170 Вт) ми використовували залежність опору вольфрамової нитки розжарення досліджуваної лампи від температури. Опір ми визначали наступним методом: отримали струм, який проходить через спіраль лампи і падіння напруги на ній. Однак проблемою стає нерівномірність температури вздовж спіралі – температура її кінців помітно нижча, ніж посередині через відведення тепла.

Таким чином, ми можемо виміряти лише «усереднений» опір.

2. Врахування нерівномірності нагріву спіралі

Нагріте тіло, випромінює світло (в нашому випадку це нитка розжарювання лампи), яке займає певний діапазон, він описується розподілом Планка. При піднятті температури спектр видимого світла зсувається за законом Віна, ми це сприймаємо як світіння. Далі світло, сприймається фотодіодом і перетворюється в фотострум (див. Рис. 2). Критичним елементом у всьому ланцюгу перетворень є зв'язок температури і напруги. Для цього і існує процедура градування.

Ланцюг перетворень

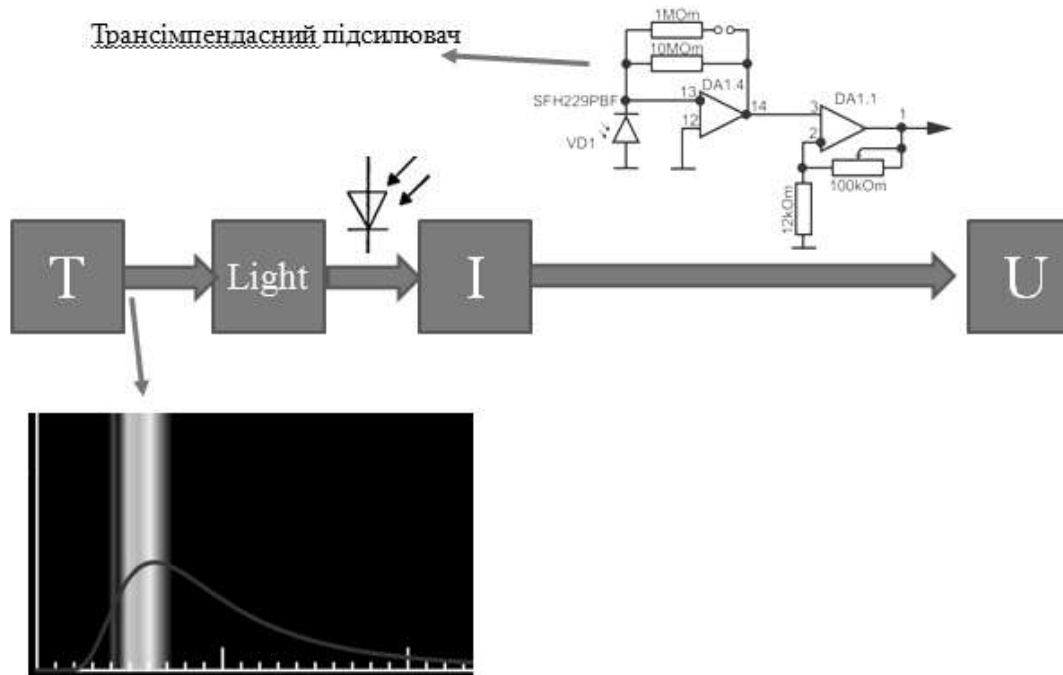


Рис. 2. Ланцюг перетворень.

Для градуювання, ми використали залежність опору нитки розжарення лампи від температури. На рисунку 3 показані результати експерименту з лампою спіральною 17-170.

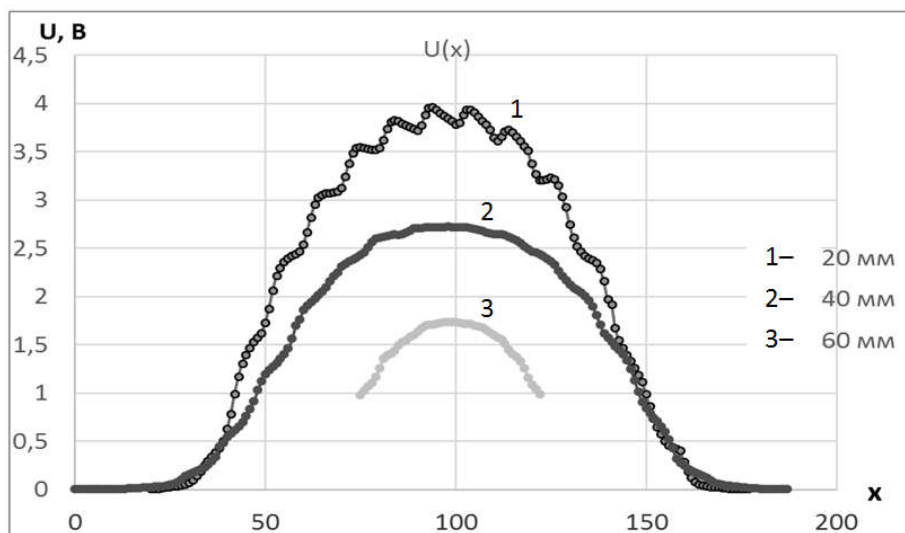


Рис. 3. Графік розподілу яскравості вздовж спіралі лампи (по вісі X одиниці вимірювання – мм).

Спіраль лампи розжарення знаходиться у скляному балоні, тому ми не мали змоги розмістити спіраль на такій же відстані до щілини, як буде розміщена нанофольга. Але дослідження залежності вихідного сигналу датчика на різних

відстанях лампи до щілини дозволило нам екстраполювати залежність максимальної напруги від відстані до спіралі (див. Рис. 4).

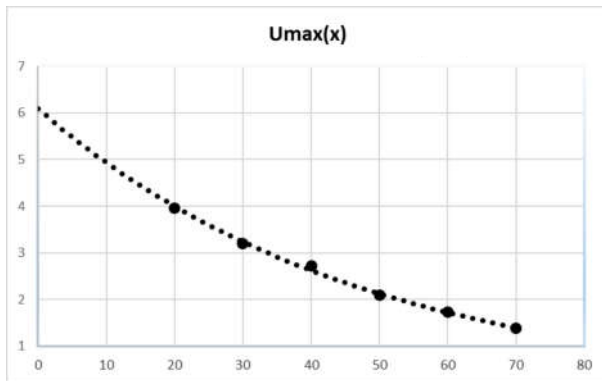


Рис. 4. Залежність вихідного сигналу датчика від відстані до спіралі (по вісі X одиниці вимірювання – мм, по вісі Y одиниці вимірювання – В).

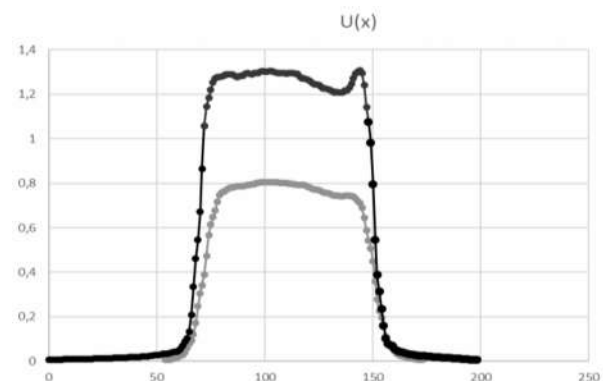


Рис. 5. Розподіл яскравості вздовж стрічки лампи СИРШ 6-40. Верхній графік отриманий при розміщенні лампи на відстані 25 мм від щілини, нижній – 45 мм (по вісі X одиниці вимірювання – мм, по вісі Y одиниці вимірювання – В).

З отриманої залежності на Рис. 4, ми можемо спрогнозувати, яким був би сигнал якби спіраль знаходилась на місці кріплення нанофольги, в даному випадку цей сигнал буде рівний 6 В.

Аналогічний експеримент ми провели і для лампи СИРШ 6-40. Вона відрізняється від першої тим, що світнім елементом є не спіраль, а стрічка. Результати вимірювань показані на Рис. 5. Спостерігаємо, що розподіл опору вздовж стрічки (і спіралі) нерівномірний, а отже і розподіл температури нерівномірний. Отже при вимірюванні ми отримуємо середню температуру стрічки (спіралі). Щоб отримати градууювальну криву, ми зробили певні обрахунки. З закону Ома $I = U/R$ та рівняння для температурної залежності опору $R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$, де R_0 – опір холодної лампи, $\Delta T = T_2 - T_1$, маємо:

$$T_2 = \left(\frac{R}{R_0} - 1 \right) \frac{1}{\alpha} + T_1 \quad (1)$$

Градування відбувалося за кімнатної температури, тому $T_1 = 293\text{K}$, $\alpha = 4.5 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ – температурний коефіцієнт опору для вольфраму.

За рівнянням (1) ми можемо побудувати градууювальну характеристику детектора. Але експериментально, ми можемо виміряти усереднений опір, а щілина приладу направлена на центр, тому нами була зроблена спроба оцінити по загальному опору локальний, і, відповідно, температуру.

3. Градування за допомогою оптичного пірметра ОПШР-09

Проградувавши спіральну лампу 17 В – 170 Вт, за допомогою оптичного пірметра із зникаючою ниткою, ми отримали зв'язок між вихідним сигналом підсилювача та температурою. На рисунку 6 наведено порівняння двох отриманих графіків.

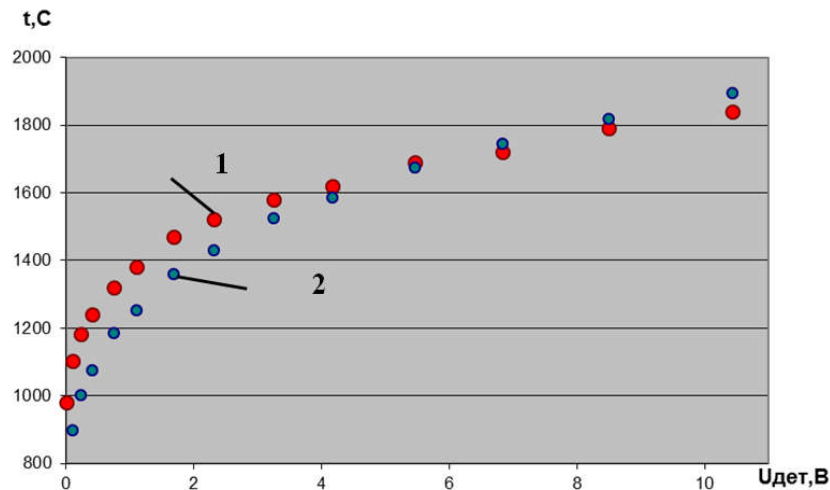


Рис. 6. Зв'язок між вихідним сигналом підсилувача та температурою.

Крива 1 на рисунку 6 отримана резистивним методом визначення температури, тим на який погано впливає нерівномірність температури, а крива 2 – отримана за допомогою оптичного пірометра ОППР-09. Аналізуючи криві 1 та 2 Рис. 6 можна отримати похибку вимірювання (див. Рис. 7).

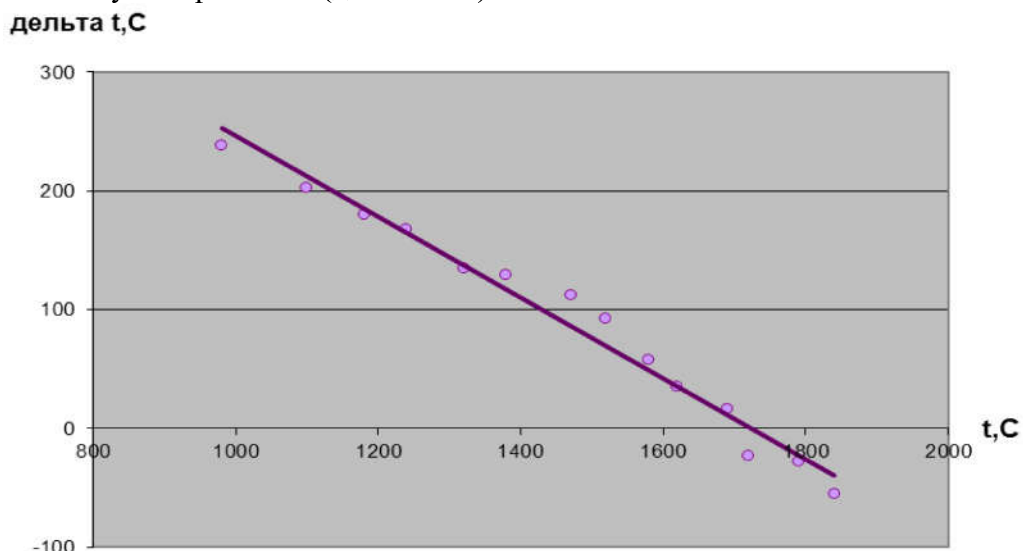


Рис. 7. Похибка вимірювання температури резистивним методом.

Для перевірки отриманих результатів була створена комп'ютерна модель, яка детальніше описана в наступному пункті.

4. Модель залежності вихідного сигналу швидкісного пірометра від температури спіралі

Нами була створена комп'ютерна модель зв'язку вихідного сигналу швидкісного пірометра та температури спіралі.

$$U = 0.62 \cdot R \cdot S_{\text{випр}} \cdot \frac{\Omega}{2\pi} \cdot \int d\lambda \cdot \varepsilon^{\text{Планка}}(\lambda) \cdot f(\lambda). \quad (2)$$

де $R = 1 \text{ МОм}$, 0.62 – інтегральна чутливість фотодіоду

За результатами комп'ютерної моделі ми побудували графік залежності температури від вихідного сигналу. Отриманий графік є градувальним (див. Рис. 8).

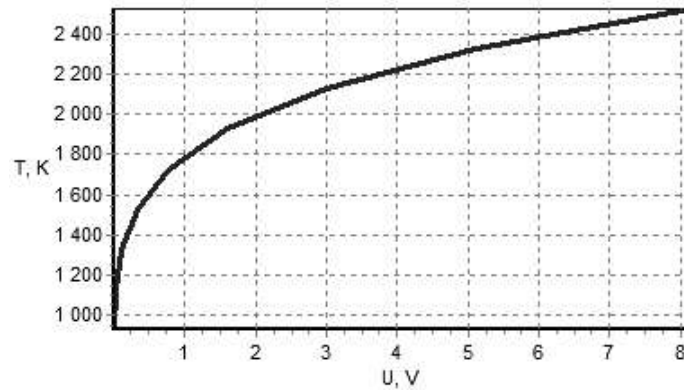


Рис. 8. Зв'язок між вихідним сигналом та температурою.

Як було сказано вище, розподіл температури по спіралі є нерівномірним, тому була удосконалена комп'ютерна модель на рахунок знаходження температури у центрі спіралі.

Основне рівняння програми для обрахунків:

$$T^{\max} = T_0 + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R^{\text{total}} S}{L \rho_0} \left(\frac{U_{\text{дет}}^{\max}}{\bar{U}_{\text{дет}}} \right)^{\frac{1}{4}} \right), \quad (3)$$

де ρ_0 – питомий опір вольфраму, S – поперечний переріз дротини спіралі, L – довжина спіралі.

$$\bar{U}_{\text{дет}} = \frac{1}{L} \int_0^L U(x) dx \quad (4)$$

На Рис. 9 зображено порівняння результатів експерименту та комп'ютерної моделі.

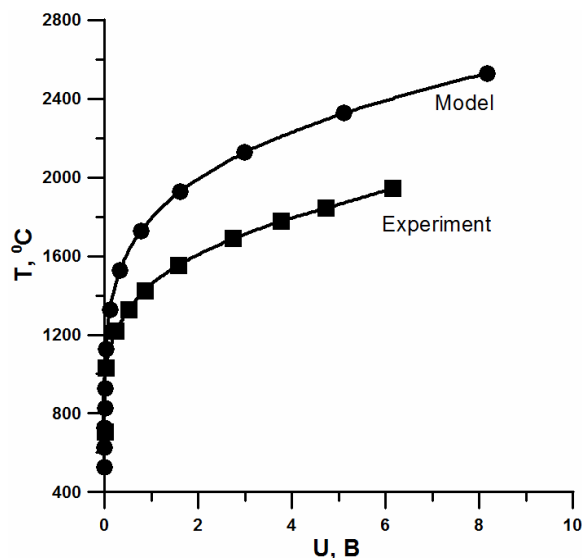


Рис. 9. Порівняльні результати комп'ютерної моделі та експерименту.

Можемо зробити висновок, що характер отриманих кривих в комп'ютерній моделі та при експериментальному градуюванні схожий. Це підтверджує, що наші вимірювання проведені доволі коректно. Тепер ми можемо використовувати дану комп'ютерну програму в методичних цілях.

Висновки

У роботі представлено експеримент та комп'ютерну модель для градуювання оптичного швидкісного пірометра. Докладно описано методику проведення експерименту. Визначено проблему градуювання швидкісного пірометра, отримано градуювальні криві для двох ламп – спіральна лампа 17 В – 170 Вт та світловимірвальна СІРШ 6-40. Показано розподіли яскравості по довжині спіралі однієї та стрічки другої лампи. Проведено градуювання еталону за допомогою оптичного пірометра зі зникаючою ниткою. Описано зроблені комп'ютерні моделі, та їх порівняння з результатами експериментів.

За результатами експерименту та даними комп'ютерної моделі, можна зробити висновок, що спіральна лампа може бути використана в якості еталона для градуювання швидкісного оптичного пірометра при дотриманні процедури градуювання.

Подяки

Роботу виконано на базі Навчально-наукового центру фізико-хімічних досліджень ЧНУ ім. Б. Хмельницького. Особлива подяка доц. Королю Я.Д. та проф. Гусаку А.М. Робота підтримана Міністерством освіти і науки України (проект 0115U000638).

Список використаної літератури:

1. Брао И. П. Анализ основных проблем и поиск перспективных направлений развития отрасли бесконтактной термометрии / И. П. Брао // *Инновации в науке*. – 2014. – С. 43–49.
2. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение / Ж. Госсорг. Пер. с фр. – М.: Мир, 1988. – с.421
3. Ранцевич В. Б. Пирометрия при посторонних источниках излучения / В. Б. Ранцевич – Минск: Наука и техника, 1988. – с.32
4. Магунов А. Спектральная пирометрия / А.Магунов. – М.: Физматлит, 2012. – 248 с.
5. Свет Д. Я. Объективные методы высокотемпературной пирометрии при непрерывном спектре излучения / Д. Я. Свет – М. : Наука, 1968. –232 с.
6. Гоц Н. Є. Науково-технічні засади метрологічного забезпечення термометрії за інфрачервоним випроміненням: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня докт. тех. наук : спец. 05.01.02 “стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення”/ Н. Є. Гоц. – Л., 2013. – 44 с.
7. Свет Д. Я. Оптические методы измерения истинных температур / Д. Я. Свет – М. : Наука, 1982. – 296 с.

References

1. Brao I. P. (2014). Analysis of the main problems and the search for promising areas of development of the sector of non-contact thermometer. *Innovacii v nauke (Innovations in science)*, 10(35), 43-49.
2. Gossorg Zh. (1988). *Infrared thermography. Basis, machinery, application* Moscow: Mir (transl. from French to Rus)
3. Rantcevich V. B. (1988). *Pyrometer with extraneous radiation sources*. Minsk: Nauka i tekhnika (in Rus.).
4. Magunov A. (2012). *The spectral pyrometry*. Moskow: Physmathlit (in Rus.).
5. Svet D. Ya. (1982). *Objective methods of high-temperature pyrometry with continuous emission spectrum*. Moscow: Nauka (in Rus.).
6. Gots N. E. (2013). *Scientific and technical principles of metrological assurance for*

infrared radiation thermometry (Doctoral thesis, National University “Lviv Polytechnic”, Lviv, Ukraine).

7. Svet D. Ya. (1982). *Optical methods for measuring the true temperature*. Moscow: Nauka (in Rus.).

Summary. *V.V. Savina, N.V. Storozhuk. High-speed optical pyrometer calibration.* The paper presents an experiment and a computer model for the high-speed optical pyrometer calibration and describes in detail the method of the experiment. The issue of high-speed pyrometer calibration was high lighted. The calibration curves for the two lamps (spiral lamp 17 V - 170 W and photometric SIRSH 6-40) were obtained as well. The article shows the brightness distribution along the spiral length of one and a tape of other lamp. The etalon calibration by using an optical pyrometer with a disappearing filament has been also done. Moreover, the authors describe the way how to make a computer model, and compare it with the experiment results. According to the experiment results and the computer model data, it can be concluded that the spiral lamp can be used as a standard for the high-speed optical pyrometer calibration by following calibration procedure.

Keywords: optical pyrometry, radiation detectors, photodiode, calibration, spiral lamp.

Одержано редакцією 29.08.2016

Прийнято до друку 28.09.2016

УДК 621.762:669.715.29

PACS 66.30.-h:, 81.05.bx:, 68.35.fx, 64.70.kd,
82.40.ck, 66.30.Ny

С. І. Дерев'янюк, В. М. Тютенко, Я. Д. Король, Ю. О. Ляшенко

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТЕРТЯМ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ SMAT НА ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРООСАДЖЕНИХ ПРОШАРКІВ МІДІ

В роботі описано технологію поверхневої механічної обробки тертям (SMAT – технологію) та конструктивні особливості створеного пристрою для її здійснення на експериментальних зразках. SMAT – технологія обробки поверхні матеріалів полягає у швидкісному бомбардуванні поверхні металів та сплавів кульками малих розмірів. Така обробка призводить до подрібнення приповерхневих зерен до нанорозмірів, що істотно впливає на властивості поверхневого шару матеріалу, а саме зміну його структурного та фазового складу. В роботі проведено експериментальне дослідження релаксації поверхневих прошарків електролітично осаджених прошарків міді на мідних підкладках з аналізом структурного стану оброблених за технологією SMAT поверхонь засобами рентгенівського дифракційного аналізу. Проведено вимірювання мікротвердості поверхневих прошарків, що характеризують вплив SMAT обробки на стан мідних полікристалічних прокатаних пластин та електроосаджених прошарків.

Ключові слова: наноструктурні матеріали, інтенсивна пластична деформація, поверхнева механічна обробка тертям, електролітично осаджені прошарки міді, твердофазні реакції.