

псевдодвофазної системи підтвердилися. Температурні залежності електричного опору повинні описуватись алгебраїчними степеневими залежностями 3-го порядку, що дійсно відзначалось з похибкою, меншою від 10^{-3} %, та коефіцієнтом кореляції 0,99999998.

Висновки

- сукупність процесів у матеріалах чутливих елементів електричних перетворювачів температури безпосередньо через електричні шуми чи опосередковано через електрохімічні та електромеханічні шуми визначає не лише вигляд номінальних статичних характеристик, але й відтворюваність та зміни у часі й під дією різноманітних зовнішніх і внутрішніх чинників;

- розуміння суті девіацій як спрямованих флуктуаційних відхилень дає змогу підвищити відтворюваність і навіть усунути “дрейф” показів, цілеспрямовано впливаючи на термодинамічний стан матеріалів чутливих елементів через різні види спряжених пар процесів перенесення термодинамічних сил та потоків.

1. Новиков И.И., Стадник Б.И., Яцишин С.П. и др. *О феноменологической модели неустойчивости интегральной термо-э.д.с. термпар // Изв. АН СССР. Сер. Металлы. – 1990. – № 3. – С. 211–214.* 2. Булатов Н.К.,

Лундин А.В. *Термодинамика необратимых физико-химических процессов. – М., – 1984. 3. Nyquist H.: Thermal agitation in conductors // Phys. Rev. – 1927. – V.32. – P. 110–113.* 4. Стадник Б.И., Куритный И.П., Гамула П.Р. *Термоэлектрическая неоднородность и внутренние механические напряжения в молибденовой проволоке // Теплофизика высоких температур. – Т.23. – Вып. 3. – 1985. – С. 563–567.* 5. Колодий З.О., Луцик Я.Т., Стадник Б.И., Яцишин С.П. *Різновидні флуктуації в твердих тілах та концепція їх поєданого вивчення // Вісн. НУ “Львівська політехніка”. 2002. – № 445. – С. 3–11.* 6. Домінюк Т., Яцишин С. *До вивчення можливості термодинамічного врахування впливу механічних напружень і деформацій на термо-ЕРС // Вимірювальна техніка і метрологія. – 2002. – № 59. – С. 66–69.* 7. Стадник Б.И., Колодий З.А., Яцишин С.П. *О точности металлических термощумовых термометров при измерении низких температур // Контрольно-измерительная техника. – Львов, 1989. – № 45. – С. 8–10.* 8. Журков С.Н. *Дилатонный механизм прочности твердых тел // Физика прочности и пластичности. 1986. – С. 5–9.* 9. Скоропад П., Стадник Б., Яцишин С. *Електрокінетичні властивості металевих стекол системи Fe40Ni38P13B9 та особливості технології їх виготовлення // Вимірювальна техніка і метрологія. – 2002. – № 60. – С. 65–69.*

УДК 536.521

ВПЛИВ СЕРЕДОВИЩА НА ПОШИРЕННЯ ВИПРОМІНЕННЯ ПРИ КОНТРОЛЮВАННІ ПІРОМЕТРОМ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ОБ’ЄКТІВ

© Наталія Гоц, Богдан Гриневич, 2003

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра “Метрологія, стандартизація та сертифікація”, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Пропонуються аспекти корекції методичної похибки під час вимірювання температурного поля великогабаритних об’єктів у робочій зоні промислового виробництва.

Предлагаются аспекты коррекции методической погрешности при измерении температурного поля крупногабаритных объектов в рабочей зоне промышленного производства.

The aspects of correction of methodical error are tendered at measurement of a temperature field of bulky objects in a working area of a commercial production.

Інформацію про розподіл температури по поверхні великогабаритних об’єктів доцільно отримувати безконтактним оптичним методом за допомогою

пірометра випромінення. Але принциповим недоліком вимірювання температури випромінення є велика методична похибка, яка в реальних умовах експлуатації

значно перевищує основну похибку самого засобу вимірювання. Методичну похибку спричиняють певні чинники:

- залежність потоку випромінювання об'єкта вимірювання (ОВ) від коефіцієнта випромінювання поверхні;

- вплив на потік випромінювання від ОВ відбитого від нього випромінювання фону сторонніх об'єктів, Сонця, сусідніх будівель та встановлених поряд однотипних об'єктів (наприклад, паралельно розташованих обертових цементних печей);

- поглинання випромінювання середовищем між ОВ та пірометром випромінювання (ПВ), зокрема навколоземним шаром атмосфери з наявними в ньому домішками у вигляді часточок промислового пилу та атмосферних опадів, яке характеризується коефіцієнтом пропускання середовища між ОВ та пірометром.

На рис.1. показана схема вимірювання пірометром температури випромінювання обертових цементних печей (ОЦП) в реальних умовах експлуатації, якщо відзначається вплив вищезгаданих чинників на потік випромінювання, що сприймається пірометром.

Для зменшення методичної похибки необхідно знайти значень цих чинників та ввести поправки на них в покази пірометра, що дасть можливість послабити їх вплив на результат вимірювання температури випромінювання.

Наявні способи визначення та урахування цих чинників, що базуються на виведенні теоретичних залежностей, використанні табличних даних, вимірюваннях у “зручний” час або експериментальному встановленні їх значень в лабораторних умовах недоцільно застосовувати для вимірювання температури великогабаритних об'єктів, оскільки вони не дають змоги враховувати всі впливні чинники, які можуть виникнути в реальних умовах виробництва. У [1] пропонується тестовий спосіб вимірювання температури випромінювання, випромінювальної здатності та параметрів випромінювання фону для об'єктів в реальних умовах їх експлуатації, який дає змогу отримати залежність вихідного сигналу пірометричного перетворювача, пропорційного до дійсної температури та випромінювальної здатності об'єкта вимірювання в умовах дії випромінювання фону. Але цим способом не можна визначити вплив на потік випромінювання ОВ проміжного середовища між об'єктом та пірометром.

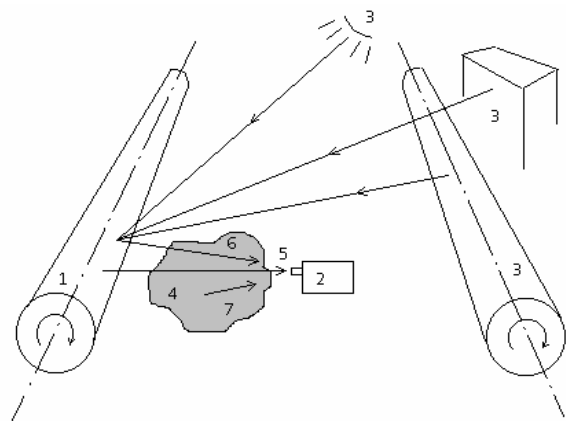


Рис. 1. Складові потоки випромінювання, що сприймається пірометром: 1 – великогабаритний об'єкт вимірювання, 2 – пірометр випромінювання, 3 – сторонні об'єкти, які створюють фонове випромінювання, 4 – проміжне середовище між ОВ та пірометром, 5 – потік випромінювання від ОВ, що послаблюється проміжним середовищем, 6 – потік відбитого від ОВ фонового випромінювання, 7 – випромінювання, спричинене середовищем між рухомих об'єктом та пірометром випромінювання

Щоб зменшити вплив проміжного середовища на вихідний сигнал пірометра, можна використовувати пірометр спектрального відношення, зокрема “Спектропір 4-01”. Його робота основана на логотричному вимірюванні відношення інтенсивностей випромінювання об'єкта на різних довжинах хвиль, яке однозначно визначає кольорову температуру.

Перевагою цього типу пірометра порівняно з радіаційними та оптичними є те, що на його покази значно менше впливає пропускання проміжного середовища, оскільки незначна запиленість атмосфери майже однаково послаблює енергію випромінювання різних довжин хвиль, за відношенням між якими і визначається кольорова температура об'єкта. Експерименти, які виконувались на обертових печах, показали придатність його до використання за умови слабого запилення.

Якщо запилення сильне, пил утворює селективні завади, які істотно впливають на точність пірометра спектрального відношення. Використовувати цей пірометр недоцільно також за наявності потужного фонового випромінювання, якщо інтенсивність випромінювання фону залежить від довжини хвилі, що спричиняє спотворення показів. Отже, застосування

пірметра спектрального відношення за умови запиленості проміжного середовища між об'єктом та пірметром не завжди виправдане.

Отже, проблема визначення впливу проміжного середовища на потік випромінювання від ОВ в реальних умовах експлуатації залишається актуальною. Розглянемо, як можна зменшити та врахувати вплив проміжного середовища на потік випромінювання від ОВ, який проходить крізь нього.

Температура випромінювання ОП вимірюється на відкритому повітрі. Навколоземний шар атмосфери на території промислових підприємств – виробників цементу та керамзиту – характеризується наявністю в повітрі хімічних сполук, дрібних частинок цементного пилу, можливою наявністю атмосферних опадів у вигляді туману, дощу або снігу. Ці чинники впливають на проходження крізь середовище випромінювання так:

- випромінювання поглинається газами, що утворюють проміжне середовище;
- середовище послаблює випромінювання від ОВ внаслідок розсіювання на частинках, молекулах та аерозолях, наявних в ньому;
- середовище додає власне випромінювання.

Ефективна густина потоку випромінювання $b_{\text{еф}}$, що сприймається приймачем випромінювання після проходження крізь проміжне середовище, яким є навколоземний шар атмосфери товщиною L , визначається як [2]:

$$b_{\text{еф}} = \tau_c (\varepsilon \cdot b_T + (1 - \varepsilon) \cdot \varepsilon_{\text{еф}} \cdot b_{\text{ф}}) + b_c \cdot \varepsilon_c, \quad (1)$$

де b_c – густина потоку випромінювання середовища; ε_c – коефіцієнт випромінювання проміжного середовища, який за умови, що коефіцієнт відбивання ПС дорівнює нулеві, становить $\varepsilon_c = 1 - \tau_c$; τ_c – коефіцієнт пропускання середовища, який дорівнює $\tau_c = e^{-\mu L}$, μ – показник послаблення, який дорівнює сумі показника поглинання k та показника розсіювання γ – $\mu = k + \gamma$.

Щоб на пропускну здатність проміжного середовища не впливало поглинання випромінювання газами, які утворюють атмосферу між ОВ та ПВ під час безконтактного вимірювання температури, необхідно визначити спектральний діапазон, в якому це поглинання зводиться до мінімуму.

Проходячи крізь середовище, випромінювання поглинається наявними в ньому газами. Вимірюючи температуру ОП пірметром, для зменшення погли-

нання випромінювання газами, які наявні у навколоземному шарі атмосфери, необхідно визначити спектральний діапазон, в якому це поглинання мінімальне.

Спектральне пропускання атмосфери для різних ділянок спектра за нормальних метеорологічних умов досліджене в [3] і спектральний коефіцієнт пропускання атмосфери подано на рис. 2. Згідно з цими даними молекулярне поглинання випромінювання атмосферою у приземному шарі значною мірою визначається наявними в ній водяною парою та вуглекислим газом.

Водяна пара присутня в атмосфері в кількості до 4 %, причому концентрація парів води може змінюватися в широких межах. До того ж під час виробництва цементу цементний клінкер в частині печі – “холодильнику” охолоджується з використанням води, яка, потрапляючи на нагріту вище за 100°C поверхню печі, інтенсивно випаровується, що спричиняє появу додаткової водяної пари навколо печей. Поглинання нею випромінювання досягає 60-80 % на довжинах хвиль 1,3–1,45 мкм, 1,8–1,95 мкм, 7,3–8,2 мкм, 14–15 мкм. В інтервалах 2,6–2,85 мкм, 5,3–7,5 мкм та за межами 20 мкм на трасах більше за 100 м випромінювання поглинається майже на 100 % [3]. А на відстанях, менших від 100 м, водяна пара істотно послаблює випромінювання, що залежить від її відсоткового вмісту в атмосфері.

Поглиналина дія вуглекислого газу слабша, ніж водяної пари, оскільки вміст вуглекислого газу в атмосфері над індустріальними центрами не перевищує 0,09 %. Він поглинає у діапазонах 1,3–1,5 мкм, 1,8–2,1 мкм, 2,6–2,9 мкм, 4,2–4,4 мкм та 13–15 мкм.

Смуги пропускання водяною парою та вуглекислим газом випромінювання, зображені на рис. 2, визначають вікна прозорості атмосфери, в яких поглинання цими газами незначне і проходження крізь атмосферу випромінювання спричиняє мінімальне його послаблення. Це робить доцільним використання ділянок спектра 3–5 мкм та 8–14 мкм.

Оскільки пропускання атмосфери добре в обох діапазонах, для вибору діапазону доцільно порівняти значення густини потоку випромінювання в цих ділянках спектра для діапазону температур від – 20 до 470°C. Згідно з графіком, поданим на рис. 3, при температурах до 350 °C, тобто в робочому температурному діапазоні випромінювання поверхні обертових печей, за законом Планка потужність випромінювання в діапазоні 3–5 мкм менша, ніж у діапазоні 8–14 мкм. Тому доцільно надати перевагу діапазону 8–14 мкм внаслідок кращого виявлення об'єкта за його власним випромінюванням.

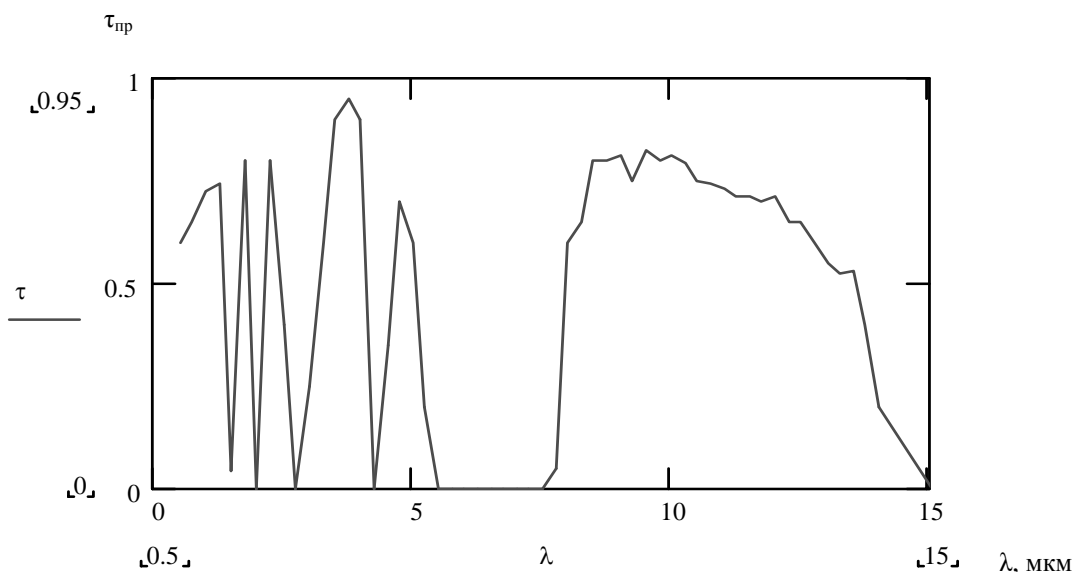


Рис. 2. Спектральний коефіцієнт пропускання атмосфери

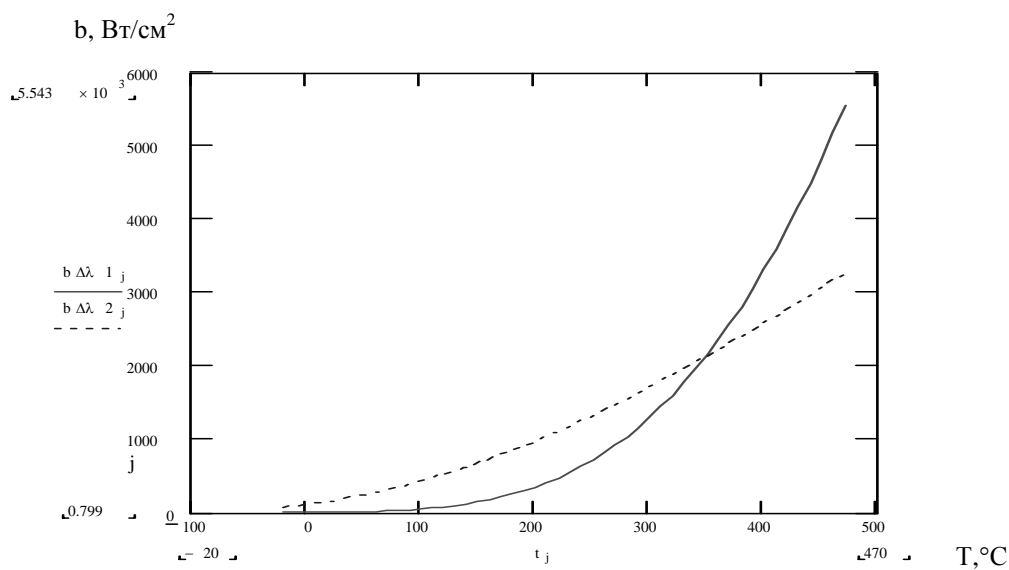


Рис. 3. Порівняльна характеристика значень густини потоку випромінювання у діапазонах довжин хвиль 3–5 та 8–14 мкм

На вибір спектрального діапазону впливає також той факт, що температура вимірюється пірометром на відкритому повітрі і істотний внесок вносить випромінювання Сонця. Сонце вважається абсолютно чорним випромінювачем з температурою 6000°K [4]. Графіки спектральної густини його потоку випромінювання подано на рис. 4 і рис. 5.

Максимум інтенсивності сонячного випромінювання відзначається на довжині хвилі близько 0,48 мкм. У діа-

пазоні довжин хвиль від 0,48 мкм до 2,5 мкм інтенсивність сонячного випромінювання різко падає. Згідно з рис. 4 і рис. 5 інтенсивність випромінювання Сонця в спектральному діапазоні 3–5 мкм значно більша від інтенсивності випромінювання Сонця в діапазоні 8–14 мкм, тому вважається доцільнішим використовувати цей діапазон.

Ці три обставини визначають доцільність застосування для вимірювання температури обертових печей пірометром спектрального діапазону 8–14 мкм.

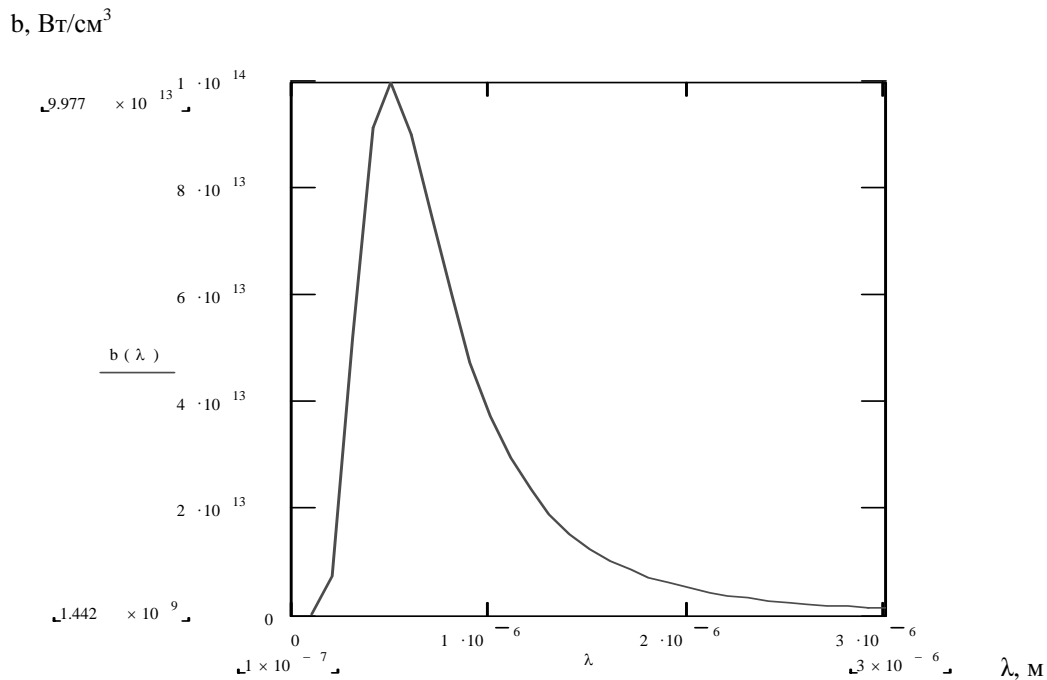


Рис. 4. Густина потоку випромінення Сонця в спектральному діапазоні від 0,18 до 3 мкм

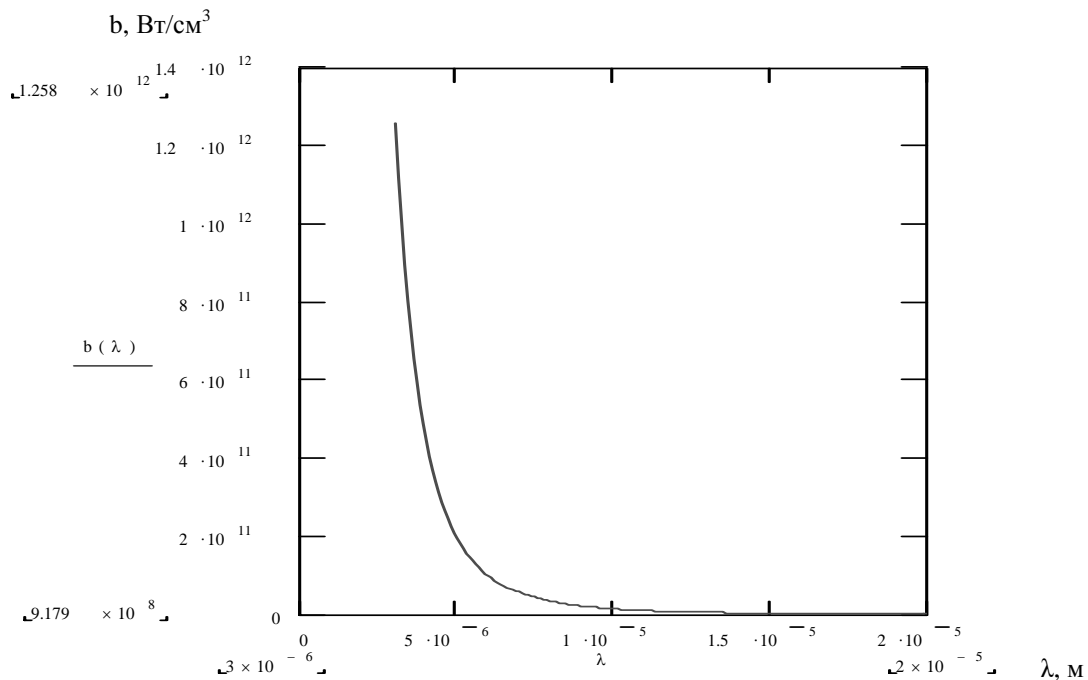


Рис. 5. Густина потоку випромінення Сонця в спектральному діапазоні від 3 до 20 мкм

Послаблення випромінення в середовищі відбувається також внаслідок розсіювання його краплями туману, дощу, часточками пилу, розміри яких перевищують довжину хвилі випромінення.

Вплив такого частого у Західному регіоні України явища, як дощ, можна врахувати, виз-

начивши коефіцієнт розсіювання за формулою [3]:

$$\tau_{\text{роз}} = e^{-\gamma \cdot L}, \quad (2)$$

де γ — показник розсіювання середовища, значення якого для дощу різної сили наведено в [3].

Значення коефіцієнта розсіювання для дощу різної сили

Метеорологічні умови	Сила дощу, м/год.	Показник розсіювання γ , m^{-1}	Значення коефіцієнта розсіювання для різних відстаней							
			10 м	20 м	30 м	40 м	50 м	60 м	70 м	80 м
Слабкий дощ	$0,25 \cdot 10^{-2}$	$0,07 \cdot 10^{-3}$	0,999	0,999	0,998	0,997	0,997	0,996	0,995	0,994
Середній дощ	$1,25 \cdot 10^{-2}$	$0,16 \cdot 10^{-3}$	0,999	0,997	0,995	0,994	0,992	0,99	0,989	0,987
Сильний дощ	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$0,23 \cdot 10^{-3}$	0,998	0,995	0,993	0,991	0,989	0,986	0,984	0,982
Дуже сильний дощ	$10 \cdot 10^{-2}$	$0,52 \cdot 10^{-3}$	0,995	0,99	0,985	0,979	0,974	0,969	0,965	0,959

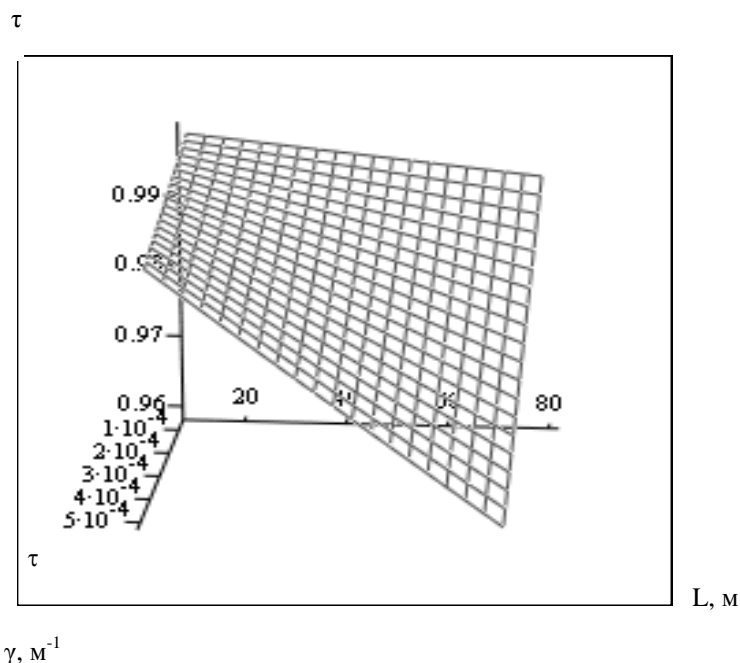


Рис.б. Залежність значення коефіцієнта пропускання від сили дощу та товщини шару проміжного середовища

З використанням значення показника розсіювання середовища для опадів різної сили розраховано коефіцієнти розсіювання дощу для відстаней від 10 до 80 м, які наведено в таблиці.

З таблиці зрозуміло, що для відстаней, менших за 100 м, дощ слабкої та середньої сили мало впливає на коефіцієнт розсіювання. Якщо дощ сильний та дуже сильний, безконтактне вимірювання температури вважається недоцільним, оскільки дощ послаблює випромінювання від ОВ та впливає на нормальну роботу пірометра.

За результатами розрахунку побудована графічна залежність значення коефіцієнта пропускання від сили

дощу та товщини шару проміжного середовища, зображена на рис. б.

Оскільки температура ОП вимірюється пірометром на відкритому повітрі в умовах запиленого середовища, то випромінювання може послаблюватись на часточках цементного пилу. За санітарними нормами в умовах промислового виробництва максимальний вміст пилу у вікнах прозорості атмосфери може досягати 10 %. Це критична ситуація за максимальної забрудненості повітря. У такому разі $\tau_{роз} = 0,9$.

Внесок власного випромінювання приземного шару атмосфери до 100 м незначний, але й він впливає на проходження випромінювання крізь середовище.

Дослідимо вплив середовища на густину потоку випромінення від ОВ. Поглинання, розсіювання, а також власне випромінення середовища змінюють величину випромінення досліджуваного об'єкта, яка сприймається пірометром. Це зумовлює ще одну складову методичної похибки вимірювання температури за випроміненням.

Для дослідження впливу пропускання середовища на ефективну густину потоку випромінення від об'єкта за допомогою програми MathCAD 2000 на основі (3) виконано розрахунки для максимально допустимої забрудненості середовища промисловим пилом ($\tau_{am} = 0,9$), якщо температура фону 20°C (рис. 7):

$$b_{efj}(T, \lambda, \varepsilon) = \tau_{am}(\varepsilon_{oj}) \int_8^{14} C_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T_0}} - 1 \right)^{-1} \partial \lambda + \varepsilon_{\phi}(1 - \varepsilon_{oj}) \int_8^{14} C_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T_{\phi}}} - 1 \right)^{-1} \partial \lambda. \quad (3)$$

На основі розрахунків побудовано залежності, які дають можливість порівняти значення потоків випромінення з урахуванням пропускання середовища та без його урахування. Як видно з графіка (рис. 7), послаблювальна дія середовища зменшує значення густини потоку випромінення об'єкта, яке сприймається пірометром.

На рис. 8 наведена температурна залежність значень похибки густини потоку випромінення, спричиненої послабленням випромінення під час проходження крізь запилене середовище залежно від значення фонового випромінення. З графіка зрозуміло, що при більших значеннях температури фонового випромінення вплив поглинальної дії середовища збільшується.

Температурну залежність складової методичної похибки, спричиненої неврахуванням коефіцієнта пропускання середовища, зображено на рис. 9. Її значення збільшується із зростанням температури ОВ та може досягати 30 °С за температури об'єкта близько 500 °С.

Оскільки послаблення випромінення в проміжному середовищі вносить значну похибку під час вимірювання температури пірометром, необхідне визначення коефіцієнтів поглинання, розсіювання та випромінення середовища в робочій зоні промислового виробництва в умовах експлуатації. Незважаючи на велику кількість наявних способів розрахунку коефіцієнта пропускання та випромінення проміжного середовища, основаних на побудові моделей розрахунку коефіцієнта пропускання [5], експериментальне знаходження їх значень в конкретних умовах є найточнішим.

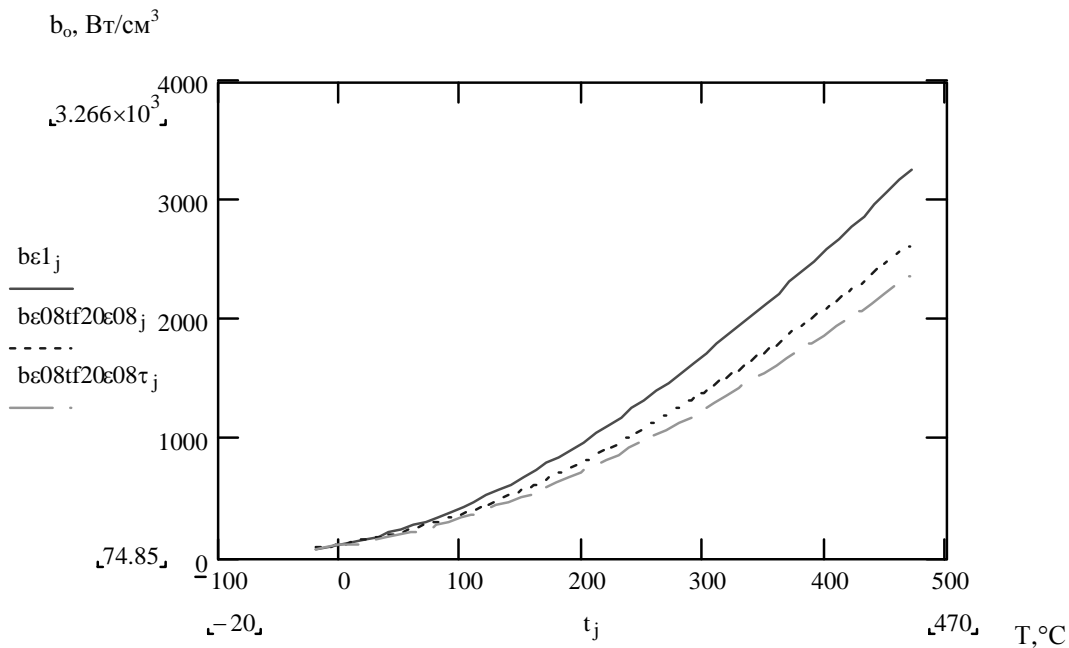


Рис. 7. Вплив максимально допустимого пропускання середовища на густину потоку випромінення ОВ в умовах випромінення фону

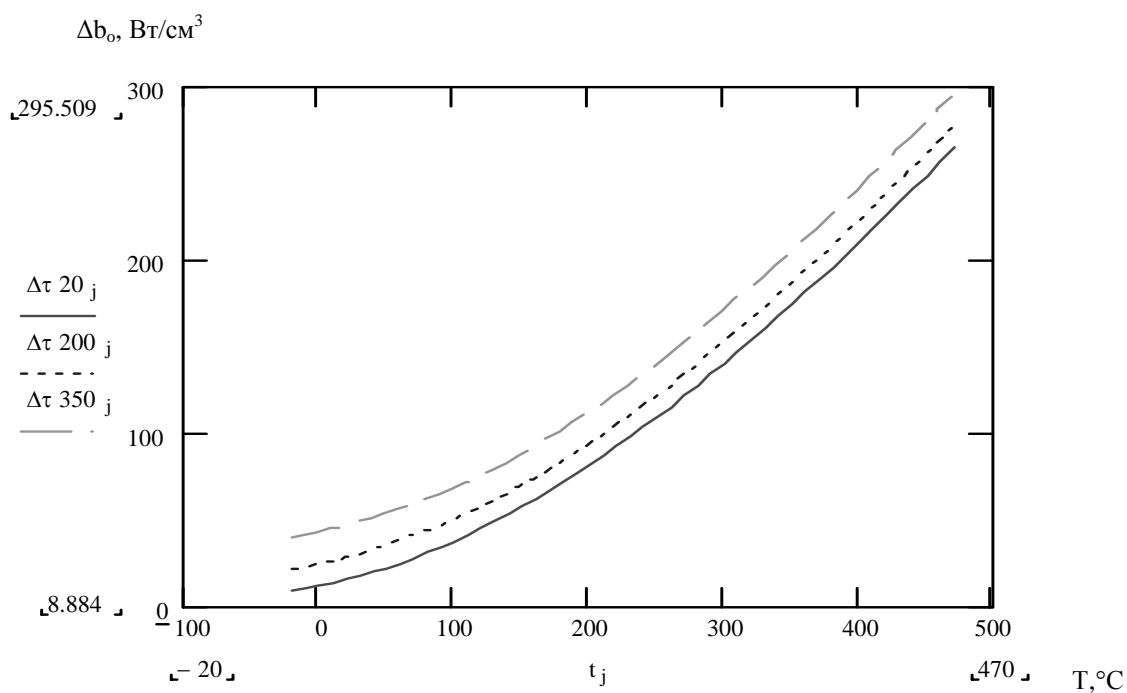


Рис. 8. Вплив максимально допустимого рівня забрудненості атмосфери на похибку густини потоку випромінення

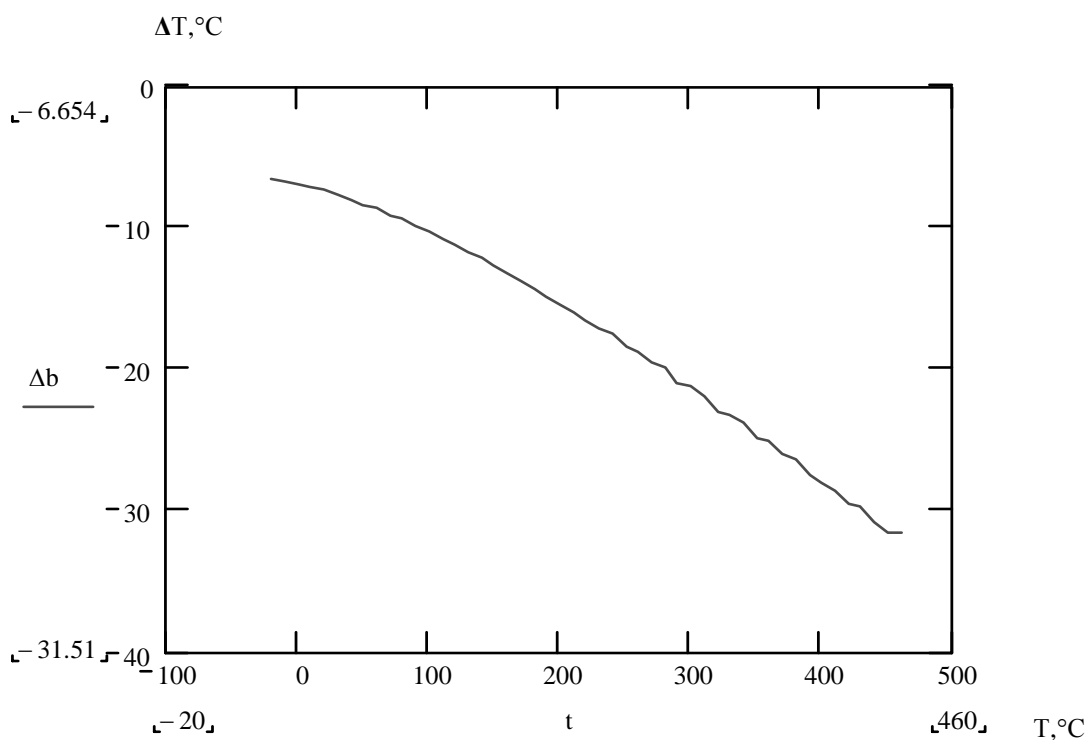


Рис. 9. Температурна залежність складової методичної похибки, спричиненої неврахуванням коефіцієнта пропускання проміжного середовища (температура фону 20°C)

Тому спосіб вимірювання температури поверхні за випроміненням з мінімальною методичною похибкою передбачає визначення коефіцієнта пропускання та густини потоку випромінення проміжного середовища під час вимірювань.

Достовірно знаючи характеристики середовища між об'єктом та пірометром, можна розрахувати температурні поправки до результатів вимірювання. На основі тестового методу та за допомогою мікропроцесорного математичного апарату цю методику можна реалізувати в системах контролю технологічних процесів на основі сканувальних пірометрів.

1. Гоц Н.Є., Засименко В.М., Гриневич Б.Ю. Метод визначення випромінювальної здатності реальних об'єктів під час сканування їх температурного поля // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 2002. – Вип. 421. 2. Ранцевич В.Б. Пирометрия при посторонних источниках излучения. – Мн., 1989. 3. Госорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение – М., 1988. 4. Фаворский О.Н., Канадер Я.С. Вопросы теплообмена в космосе. – М., 1972. 5. Свет Д.Я. Оптические методы измерения истинных температур. – М., 1982.

УДК 621.314

ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ФЕРОМАГНЕТИКА ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

© Василь Чабан^{1,2}, Е. Киця¹, Андрій Чабан², 2003

¹Ряшівський університет, вул. Рейтана, 16А, 35–310, Ряшів, Польща,

²Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Теоретична і загальна електротехніка", вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Запропоновано метод визначення температури ферромагнетика за допомогою штучної нейронної мережі. Як учителя мережі використано польову математичну модель тороїда. Навчання здійснювалося за стандартною підпрограмою зустрічної пропагації. Як вхідні сигнали використано усталені значення струму обмотки намагнетичування. Подаються результати комп'ютації.

Предложен метод определения температуры ферромагнетика с помощью искусственной нейронной сети. В качестве учителя сети используется полевая математическая модель тороида. Обучение осуществляется с помощью стандартной подпрограммы встречной пропагации. В качестве входных сигналов используются установившиеся значения тока обмотки намагничивания. Приводятся результаты расчета на ЭВМ.

In the paper is proposed the method of determination of temperature of ferromagnetic by artificial neural networks (ANN). As supervisor of ANN we used a perfect mathematical field model of toroid. In process of computer simulation are used standard methods of back propagation. As input signals are used the steady-state currents of magnet winding. The results of computation are given.

1. Вступ. На практиці дуже часто виникає потреба визначення температурного стану ферромагнетних тіл електротехнічних пристроїв. Технічне вирішення цієї проблеми традиційними методами пов'язане з цілою низкою труднощів. У статті пропонується використати для цієї мети штучну нейронну мережу, навчену за усталеними значеннями струму намагнетичувальних обмоток. Відомо, що температура впливає на значення питомого опору сталі, а це, своєю чергою, – на її електротехнічні характеристики, до яких чутливі вихрові

струми. Щоби уникнути значних експериментальних досліджень на фізичному об'єкті, ми пропонуємо навчати штучну нейронну мережу за допомогою досконалої польової математичної моделі електротехнічного пристрою [1]. Результати комп'ютерної симуляції підтвердили, що форма струму намагнетичувальної обмотки залежить достатньою мірою від температури, щоб за її гармонічним складом можна було зробити висновок про температурний стан ферромагнетика. Крім того, попередні наші дослідження