

УДК 620.179

СЕБКО В.В.\* , ЗДОРЕНКО В.Г.\*\*

\*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

\*\*Київський національний університет технологій та дизайну

## ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ ПЛОСКИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КОМПОНЕНТІВ РІЗНИЦЕВОГО СИГНАЛУ БАГАТОПАРАМЕТРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

**Мета.** Метою статті є дослідження теоретичних положень роботи теплового трансформаторного електромагнітного перетворювача (ТЕМП) при реалізації електромагнітного методу вимірювального контролю прирощень температурних і електричних параметрів немагнітних виробів плоскої форми.

**Методика.** Використана методика дослідження двохлапараметрового електромагнітного методу вимірювального контролю параметрів немагнітних плоских виробів при застосуванні теплового ТЕМП.

**Результати.** Запропоновано двохлапараметровий електромагнітний метод сумісного вимірювального контролю електричних і температурних параметрів немагнітних плоских виробів. На основі запропонованих універсальних функцій перетворення теплового ТЕМП, отримано основні співвідношення, які описують двохлапараметровий метод вимірювального контролю прирощень питомого електричного опору та температури алюмінієвого плоского зразка.

**Наукова новизна.** Розвинуті теоретичні положення роботи теплового ТЕМП з плоским виробом, що піддається нагріванню, отримані залежності компонентів сигналів теплового ТЕМП від прирощень електричних та температурних параметрів плоского виробу.

**Практична значимість.** Розроблено алгоритм реалізації теплового двохлапараметрового електромагнітного методу вимірювального контролю питомого електричного опору  $\rho$  та температури  $t$  виробів плоскої форми на основі вимірювань та аналізу прирощень сигналів теплового двохлапараметрового електромагнітного перетворювача.

**Ключові слова:** температура, питомий електричний опір, метод вимірювального контролю, різницевий сигнал, тепловий двохлапараметровий перетворювач, компоненти сигналів перетворювача.

**Вступ.** На теперішній час особливе значення мають методи та пристрої неруйнівного контролю (НК) деталей, елементів та вузлів технологічного обладнання. До переваг методів НК слід віднести: можливість багатократного вимірювального контролю фізико-механічних параметрів виробів, порівняну простоту реалізації методів, можливість автоматизації процесу контролю (що у свою чергу, дозволяє їх застосовувати під час активного безперервного контролю), контроль деталей та складальних одиниць обладнання в процесі експлуатації та під час ремонту без порушення режиму функціонування технологічного обладнання, контроль рухомих елементів конструкцій та виробів, що нагріваються до високих температур [1-11].

При цьому з точки зору підвищення якості та безпеки при виробництві промислового обладнання, важливе значення мають ті методи та пристрої НК, які дозволяють визначати параметри стандартних деталей обладнання не тільки відповідального машинобудування а й з'єднувального обладнання та обладнання інструментарію (з'єднувальних пластин, опорних пластин для монтажу, пластин металорізального інструменту, з'єднувальних елементів, притискних і проміжних вальців, барабанів, розподільних кулачків, дозаторів цементу, шнеків, дозувальних закривів та ін.). Важливе значення має також поопераційний контроль якості пластин трансформаторів, електричних двигунів та генераторів, контакторів та інших деталей та вузлів устаткування. При цьому для відпрацювання технології раціонального

відпалювання є необхідним вимірювати температуру плоских виробів безконтактними методами. Тому важливий теоретичний і практичний інтерес представляє розвиток та удосконалення безконтактних електромагнітних методів вимірювання температури та пов'язаних з нею фізико-механічних параметрів виробів та конструкцій обладнання машинобудування [7]. До переваг електромагнітних методів визначення температури слід віднести: безконтактність, можливість автоматизації процесу багатопараметрових вимірювань, а також можливість вимірювання температури, середньої за перетином, та миттєвих значень температури досліджуваного зразка [1, 2, 6].

У статтях [4-9] розглянуто теоретичні основи роботи електромагнітних давачів (ЕД) з немагнітними та феромагнітними плоскими виробами під час реалізації екстремальних методів визначення магнітної проникності  $\mu_r$  та питомої електричної провідності  $\sigma$  феромагнітних пластин, а також методи визначення площі поперечного перерізу  $S$ , питомого електричного опору  $\rho$  і температури  $t$  немагнітних плоских виробів, отримано універсальні функції перетворення, на основі яких розроблено нові електромагнітні методи контролю, наведено аналіз похибок вимірювань параметрів досліджуваних плоских виробів. Низька точність вимірювань при реалізації розглянутих в цих роботах методів та доволі низька чутливість перетворювача до параметрів плоских виробів, пояснюється тим, що у якості сигналу ЕД автори робіт [4-9] обирали інформативні характеристики ЕРС  $E_{\Sigma}$  та фазовий кут зсуву  $\varphi_0$ , або ЕРС ЕД  $E_{вн}$  та її фазовий кут зсуву  $\varphi_{вн}$  (по відношенню до  $\varphi_0$ ), які мають функціональні залежності з параметрами плоских виробів, однак результати такого контролю характеризуються складними алгоритмами вимірювальних та розрахункових процедур. Зокрема, на сьогодні практично не досліджені особливості роботи теплових багатопараметрових електромагнітних пристроїв для вимірювального контролю параметрів виробів плоскої форми, які використовують у якості інформативного параметра різниці компонентів сигналів теплового трансформаторного електромагнітного перетворювача (ТЕМП), не отримано співвідношення, які описують реалізацію таких методів.

Таким чином, виникає важлива наукова і практична проблема, сутність якої полягає у підвищенні точності вимірювань температури немагнітних плоских виробів за рахунок реалізації багатопараметрових електромагнітних методів, розроблених на основі простих алгоритмів вимірювальних та розрахункових процедур, які містять операції з прирощеннями компонентів сигналів теплових ТЕМП.

**Постановка завдання.** Метою статті є дослідження теоретичних положень роботи теплового ТЕМП при реалізації електромагнітного методу вимірювального контролю прирощень температурних і електричних параметрів немагнітних виробів плоскої форми. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. На основі запропонованих універсальних функцій перетворення теплового ТЕМП отримати основні співвідношення, які описують двохпараметровий метод вимірювального контролю питомого електричного опору  $\rho$  і температури  $t$  алюмінієвого плоского зразка.
2. На основі отриманих співвідношень та розглянутої схеми включення теплового ТЕМП з пластиною, яка підлягає нагріву у процесі контролю, навести результати визначення питомого електричного опору та температури об'єкта контролю.

**Результати дослідження.** Скориставшись результатами робіт [1-9], спочатку визначимо нормовані параметри для отримання універсальних функцій перетворення, які

пов'язують характеристики теплового ТЕМП з прирощеннями електричних і температурних параметрів досліджуваного плоского зразка. Параметр  $\Pi$  з урахуванням результатів робіт [4-9] являє собою питому нормовану ЕРС, яка пов'язана з магнітним потоком у виробі. Параметр  $\beta_2$  представляє собою фазовий кут зсуву між ЕРС  $E_0$ , яка обумовлена проходженням магнітного потоку в перетворювачі при відсутності виробу і параметром  $\Pi$  [4-9]. Параметр  $\Pi_x$  представляє собою ЕРС  $E_2$ , яка обумовлена проходженням магнітного потоку через квадратну площину одиничного перерізу зі стороною, яка дорівнює глибині проникнення магнітного поля  $\delta$ . При цьому для пластини, яка піддається нагріву в процесі контролю, параметр  $\Pi_{xt}$  визначають за наступним виразом:

$$\Pi_{xt} = \Pi_t x_t^2, \quad (1)$$

де індекс "t" свідчить про те, що дана величина залежить від температури [10].

Вираз для визначення узагальненого параметру  $x_t$ , який пов'язує характеристики теплового ТЕМП з прирощеннями електричних та температурних параметрів плоских виробів, має наступний вигляд [4, 5]:

$$x_t = d \sqrt{\frac{\mu_0 \pi f_t}{\rho_t}} \quad (2)$$

де  $d$  – товщина пластини, що піддається нагріву;  $\rho_t$  – питомий електричний опір з урахуванням температури пластини;  $\mu_0$  – магнітна стала [10];  $f_t$  – частота магнітного поля теплового ТЕМП.

При цьому вимірювальний електромагнітний контроль електричних та температурних параметрів немагнітних плоских зразків має також важливе самостійне значення, оскільки дозволяє одержати найбільш повну інформацію щодо досліджуваних плоских виробів одним і тим же електромагнітним перетворювачем в одній і тій же зоні контролю [7, 8].

На рис.1 наведено схему включення теплового ТЕМП з плоским виробом, що піддається нагріву в процесі контролю тепловим перетворювачем Н, який розташований безпосередньо у ТЕМП. При цьому на базі ТЕМП здійснюється реалізація електромагнітного двохпараметрового методу, який передбачає використання повздовжнього магнітного поля, що зондує досліджуваний плоский виріб. Розглянута схемна реалізація дозволяє визначити компоненти сигналів теплового ТЕМП, які пов'язані з прирощеннями електричних та температурних параметрів немагнітних пластин, що контролюються. Схема включає до себе: ДЗ – джерело змінного струму, А – амперметр, ТЕМП, який містить робочий та компенсаційний перетворювачі РП, та КП відповідно, а також опорні котушки взаємодуктивності КВР та КВК. Схема також включає до себе: вольтметр В; вимірювач кута фазового зсуву ВФ, плоский виріб, що піддається нагріву та холодний плоский виріб,  $\Pi$  та  $\Pi_1$  відповідно, мікроамперметр мкА, обмежувач струму R, змінний опір  $R_1$ , напівпровідникові діодні містки ВМ1 та ВМ2. Таким чином, вимірювачем напруги В реєструють ЕРС  $E_0$ . Далі за допомогою вимірювача фазового кута зсуву ВФ, визначають різницевий сигнал  $\delta\beta_{2\Pi t} = \beta_{2\Pi} - \beta_{2\Pi 1}$  (різницевий сигнал, або прирощення фазового кута  $\delta\beta_2$  ТЕМП з пластиною, що піддається нагріву). Після цього вимірюють різницеву ЕРС,

тобто  $\delta E_{2\Pi t} \approx E_{2\Pi} - E_{2\Pi 1}$  (різницевий сигнал, або прирощення ЕРС пластини, що піддається нагріву).

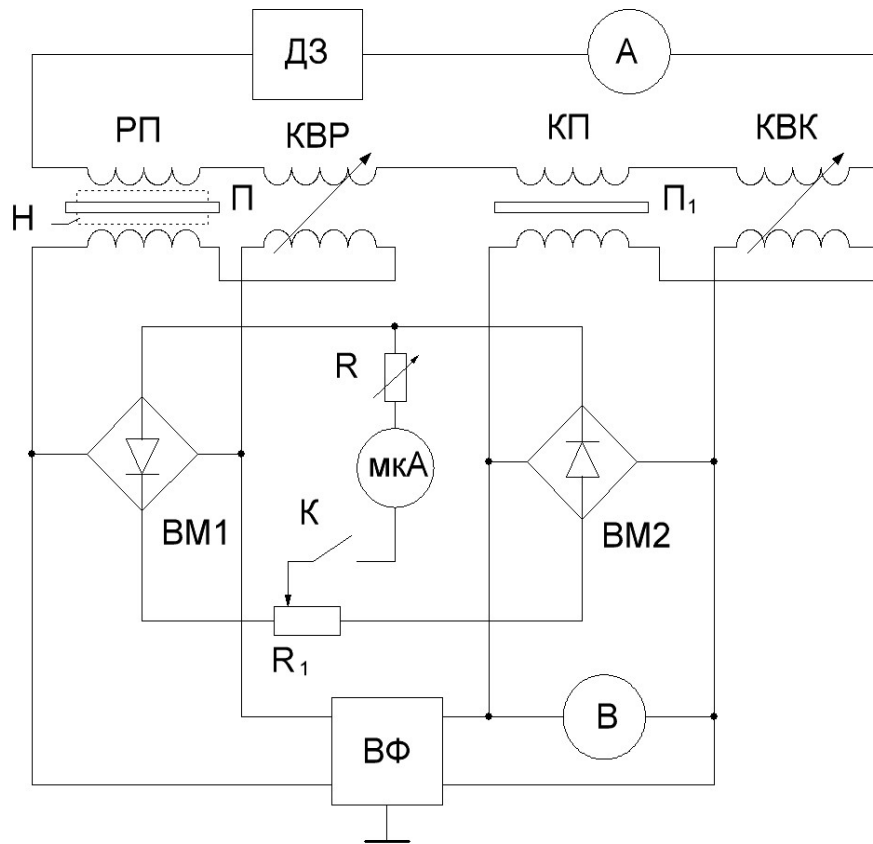


Рис. 1. Схема теплового двохпараметрового ТЕМП з алюмінієвою пластинною, що контролюється

Скориставшись результатами робіт [4-9], запишемо вираз для похідної прирощення компонентів фазового сигналу теплового ТЕМП з плоским виробом:

$$\frac{\delta x_{\Pi t}}{x_{\Pi 1}} = \frac{dx_{\Pi t}}{d\beta_{2\Pi t}} \cdot \frac{\beta_{2\Pi 1}}{x_{\Pi 1}} \cdot \frac{\delta\beta_{2\Pi t}}{\beta_{2\Pi 1}} \quad (3)$$

де  $\beta_{2\Pi 1}$  - фазовий кут зсуву  $\beta_{2\Pi}$ , при  $t_1=20^\circ\text{C}$ ;  $x_{\Pi 1}$  - узагальнений магнітний параметр  $x$  при  $t_1=20^\circ\text{C}$ .

Залежності компонентів сигналів теплового двохпараметрового ТЕМП з плоским немагнітним виробом, що контролюється, наведено на рис. 2, 3.

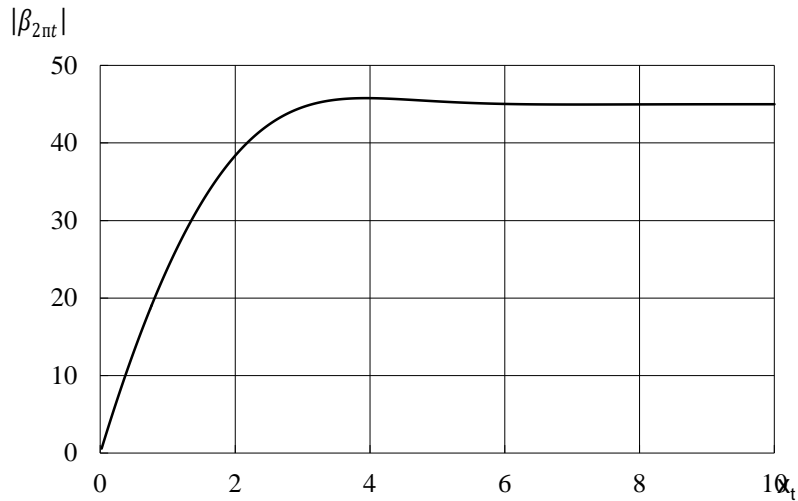


Рис.2. Залежність фазового кута зсуву  $\beta_{2\Pi t}$  від узагальненого магнітного параметра  $x_t$ , при реалізації електромагнітного методу контролю на основі теплового двохпараметрового ТЕМП,  $\beta_{2\Pi t} = f(x_t)$

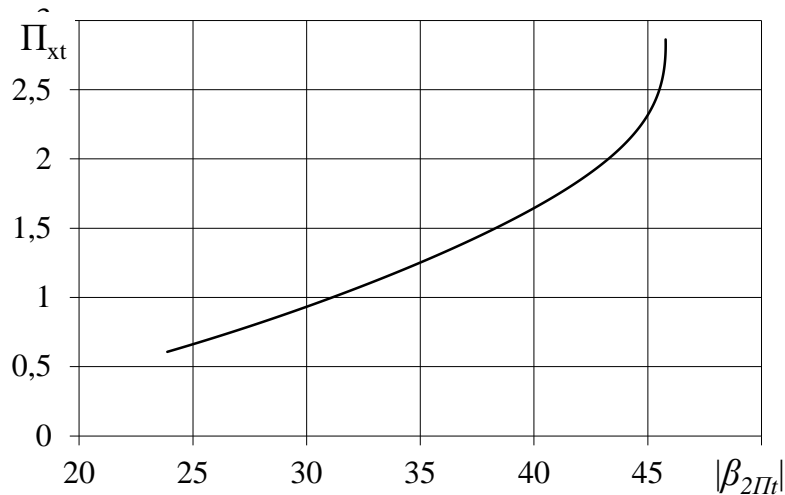


Рис. 3. Залежність параметра  $\Pi_{xt}$  від величини фазового сигналу двохпараметрового теплового ТЕМП,  $\Pi_{xt} = f(\beta_{2\Pi t})$

Отже, після нескладних перетворень, маємо наступний вираз

$$\frac{\delta x_{\Pi t}}{x_{\Pi 1}} = \frac{dx_{\Pi t}}{d\beta_{2\Pi t}} \cdot \frac{\beta_{2\Pi 1}}{x_{\Pi 1}} \cdot \frac{\beta_{2\Pi t} - \beta_{2\Pi 1}}{\beta_{2\Pi 1}} \quad (4)$$

Вираз для прирощення  $\delta\Pi_{xt}/\Pi_1$ , має наступний вигляд

$$\frac{\delta\Pi_{xt}}{\Pi_1} = \frac{d\Pi_{xt}}{d\beta_{2\Pi t}} \cdot \frac{\beta_{2\Pi 1}}{\Pi_1} \cdot \frac{\delta\beta_{2\Pi t}}{\beta_{2\Pi 1}}, \quad (5)$$

або

$$\frac{\delta\Pi_{xt}}{\Pi_1} = \frac{d\Pi_{xt}}{d\beta_{2\Pi t}} \cdot \frac{\beta_{2\Pi 1}}{\Pi_1} \cdot \frac{\beta_{2\Pi t} - \beta_{2\Pi 1}}{\beta_{2\Pi 1}} \quad (6)$$

Відносне прирощення питомої електричної провідності  $\delta\sigma_t/\sigma_{\Pi 1}$ , визначають за наступним виразом:

$$\frac{\delta\sigma_t}{\sigma_{П1}} = \left( \frac{2dx_{Пт}}{d\beta_{2Пт}} \cdot \frac{1}{x_{П1}} + \frac{d\Pi_{xt}}{d\beta_{2Пт}} \cdot \frac{1}{\Pi_1} \right) \delta\beta_{2П1} - \frac{\delta E_{2Пт}}{E_{2П1}} \quad (7)$$

Для спрощення виразу (5), доцільно ввести коефіцієнт  $G_{1t}$

$$G_{1t} = \frac{2dx_{Пт}}{d\beta_{2Пт}} \cdot \frac{1}{x_{П1}} + \frac{d\Pi_{xt}}{d\beta_{2Пт}} \cdot \frac{1}{\Pi_1} \quad (8)$$

З урахуванням наведеного вище, вирази для визначення прирощень  $\delta\sigma_t/\sigma_{П1}$  та  $\delta\rho_t/\rho_{П1}$ , мають наступний вигляд:

$$\frac{\delta\sigma_t}{\sigma_{П1}} = G_{1t} \delta\beta_{2П1} - \frac{\delta E_{2Пт}}{E_{2П1}} \quad (9)$$

та

$$\frac{\delta\rho_t}{\rho_{П1}} = \frac{1}{G_{1t} \delta\beta_{2П1} - \frac{\delta E_{2Пт}}{E_{2П1}}} \quad (10)$$

Температуру алюмінієвого плоского зразка, що контролюється, знаходимо скориставшись залежністю,  $\rho_t=f(t)$  [10]. Формула для визначення прирощення температури  $\delta t/t_1$  зразка плоскої форми, має наступний вигляд:

$$\frac{\delta t}{t_1} = -2 \frac{dx_{Пт}}{d\beta_{2Пт}} \frac{1}{x_{П1}} \frac{1 + \alpha t_1}{\alpha t_1} (\beta_{2Пт} - \beta_{2П1}) \quad (11)$$

де  $dx_{Пт}/d\beta_{2Пт}$  – похідна функції перетворення у робочій точці;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору (ТКО) матеріалу алюмінієвого зразка плоскої форми [10].

В табл. 1 наведено отримані результати досліджень температурних та електричних параметрів плоского зразка, що контролюється. Матеріал зразка - алюміній; питомий електричний опір при початковій температурі  $\rho_l = 2,831 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, температурний коефіцієнт опору  $\alpha = 4,23 \cdot 10^{-3}$  1/К (дані визначено контрольними методами); досліджуваний діапазон температур 20...120 °С; товщина пластини  $d=0,5$  мм; ширина пластини  $h=7$  мм; товщина каркасу  $d_k=5$  мм; ширина каркасу  $h_k=7$  мм; довжина пластини  $l=170$  мм; напруженість магнітного поля  $H_0=300$  А/м; кількість витків намагнічувальної обмотки  $W_H = 450$ ; кількість витків вимірювальної обмотки  $W_B = 1500$ ; частота магнітного поля теплового електромагнітного перетворювача  $f=200$  кГц.

Таблиця 1.

**Результати вимірювального контролю температурних і електричних параметрів досліджуваної пластини**

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_t \cdot 10^{-8},$ Ом·м	$t', ^\circ\text{C}$	$\Delta\rho_t \cdot 10^{-8},$ Ом·м	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\delta\rho_t/\rho_{П1}$	$\delta t/t_1$
20	2,832	20,09	0,001	0,09	0,00035	0,0045
30	2,94	29,97	0,109	9,88	0,03850	0,49179
40	3,051	40,02	0,22	19,93	0,07771	0,992036
50	3,161	49,98	0,33	29,89	0,116567	1,4878049
60	3,271	59,96	0,44	39,87	0,1554221	1,98457

Продовження таблиці 1.

70	3,382	70,01	0,551	49,92	0,194631	2,48482
80	3,492	79,87	0,661	59,89	0,233486	2,981085
90	3,603	90,12	0,772	70,03	0,272695	3,48581
100	3,713	100,09	0,882	80	0,3116	3,982081
110	3,823	110,06	0,992	89,97	0,350406	4,478347
120	3,934	120,12	1,103	100,03	0,389615	4,9791

Таким чином, досліджуваний електромагнітний метод засновано на вимірюванні та аналізі компонентів сигналів первинного перетворювача (теплового ТЕМП), які пов'язані з прирощеннями електричних і температурних параметрів немагнітних пластин, що контролюються.

**Висновки.** Результати, які наведено у даній статті, дозволяють визначити коло завдань для вирішення важливої наукової і практичної проблеми, сутність якої полягає у підвищенні точності вимірювань температури немагнітних плоских виробів за рахунок реалізації багатопараметрових електромагнітних методів, розроблених на основі простих алгоритмів вимірювальних та розрахункових процедур, які містять операції з прирощеннями компонентів сигналів теплових електромагнітних перетворювачів. В рамках дослідження цієї проблеми запропоновано двохпараметровий електромагнітний метод сумісного вимірювального контролю електричних і температурних параметрів немагнітних плоских виробів. На основі запропонованих універсальних функцій перетворення теплового ТЕМП, отримано основні співвідношення, які описують двохпараметровий метод вимірювального контролю прирощень питомого електричного опору  $\rho$  та температури  $t$  алюмінієвого плоского зразка. Наведено результати визначення параметрів  $\rho$  і  $t$  досліджуваного зразка. Перспективи подальших досліджень полягають в встановленні оптимальних режимів роботи теплових ТЕМП з плоскими виробами, що контролюються, при розрахунках та проектуванні автоматизованих пристроїв контролю та керування процесами теплової обробки та обробки тиском виробів машинобудування.

### Література

1. Багмет О.Л., Машнева І.В., Себко В.В., Москаленко І.І. Расчет характеристик электромагнитного преобразователя температуры // Измерительная техника. – Харьков. - 1997. – № 1. – С. 57-60.
2. Себко В.В., Здоренко В. Г. Вимірювальний контроль чотирьох параметрів циліндричного виробу, який зондується магнітним полем кратних частот // Вісник КНУТД. – 2009. – Вип. №2 (46). – С. 43 – 50.
3. Себко В.В. Информационные технологии применяемые при совместном автоматизированном вихретоковом контроле параметров цилиндрических изделий // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2010. – Вип. №3 (44), – С. 14-19.
4. Себко В.П., Кириченко Р.І. К теории работы трансформаторного электромагнитного преобразователя с плоским проводящим изделием // Технічна електродинаміка. – Київ: Ін-т електродинаміки

### References

1. Bagmet O.L., Mashneva I.V., Sebko V.V., Moskalenko I.I. (1997) *Raschet kharakteristik elektromagnitnogo preobrazovatelya temperatury* // *Izmeritel'naya tekhnika*. Khar'kov. no.1. P. 57-60.
2. Sebko V.V., Zdorenko V. H. (2009) *Vymiriuvalnyy kontrol chotyrokhn parametriv tsylindrychnoho vyrobu, yakyy zonduietsia mahnitnym polem kratnykh chastot*. BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design. no.2 (46). P. 43 – 50.
3. Sebko V.V. (2010) *Informatsionnye tekhnologii primenyaemye pri sovmestnom avtomatizirovannom vikhretokovom kontrole parametrov tsilindricheskikh izdeliy*. Radioelektronni i kompiuterni systemy. Kharkiv: Natsionalnyi aerokosmichnyi universytet im. M.Ie. Zhukovskoho «Kharkivskiy aviatsiyniy instytut. no.3 (44), P. 14-19.
4. Sebko V.P., Kirichenko R.I. (2000) *K teorii raboty transformatornogo elektromagnitnogo preobrazovatelya s ploskim provodyashchim izdeliem*. Tekhnichna

НАНУ. - 2000. – Тем.випуск, Ч. 1. – С. 93-98.

5. Себко В.П., Кириченко Р.И. Погрешности одновременного определения магнитной проницаемости и электропроводности плоского изделия // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ". - 2002. - № 9. – С. 129-132.

6. Себко В.В. Вихретоковый многопараметровый метод контроля плоских изделий авиационного оборудования // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2010. – Вип. №5 (72), – С. 83-89.

7. Себко В.В. Оценка достоверности контроля, при реализации многопараметрового вихретокового метода контроля параметров плоских изделий // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ", 2010. – Вип. №42, С. 93 – 100.

8. Себко В.В. Трансформаторный вихретоковый датчик с пластиной, зондируемой полем кратных частот // Український метрологічний журнал. – Харків. – 2007. – Вип. 2. – С. 26 – 29.

9. Себко В.П., Себко В.В., Питак И.В., Здоренко В.Г., Зашчепкина Н.М. Точность идентификации ферромагнитных плоских изделий за счет создания информационной избыточности // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – №47. – С.133 – 140.

10. Спектор С.А. Электрические измерения физических величин. - Л.: Энергоатомиздат, 1987 - 320 с.

11. Себко В.В., Здоренко В. Г. Дослідження двохпараметрового методу контролю електричних та температурних параметрів виробів, що нагріваються у процесі контролю. – Вісник КНУТД. Технічні науки. – 2017. – Вип. №2. – С. 59 – 67.

elektrodynamika. – Kyiv: In-t elektrodynamiky NANU, 1.P. 93-98.

5. Sebko V.P., Kirichenko R.I. (2002) *Pogreshnosti odnovernennogo opredeleniya magnitnoy proniatsaemosti i elektroprovodnosti ploskogo izdeliya*. Bulletin of the National Technical University Harkov Polytechnic Institute. Kharkiv. no 9. P. 129-132.

6. Sebko V.V. (2010) *Vikhretkovyy mnogoparametrovyy metod kontrolya ploskikh izdeliy aviatsionnogo oborudovaniya*. Aviatyino-kosmichnatekhnika i tekhnolohiia. Bulletin of the National Technical University Harkov Polytechnic Institute. Kharkiv no.5 (72), P. 83-89.

7. Sebko V.V. (2010) *Otsenka dostovernosti kontrolya, pri realizatsii mnogoparametrovogo vikhretkovogo metoda kontrolya parametrov ploskikh izdeliy*. Bulletin of the National Technical University Harkov Polytechnic Institute. Kharkiv. no. 42, P. 93 – 100.

8. Sebko V.V. (2007) *Transformatornyy vikhretkovyy datchik s plastinoy, zondiruemoj polem kratnikh chastot*. Ukrainian Metrology Journal. Kharkiv. no.2. P. 26 – 29.

9. Sebko V.P., Sebko V.V., Pitak I.V., Zdorenko V.G., Zashchepkina N.M. (2011) *Tochnost' indentifikatsii ferromagnitnykh ploskikh izdeliy za schet sozdaniya informatsionnoy izbytochnosti*. Bulletin of the National Technical University Harkov Polytechnic Institute. Kharkiv. no.47. P.133 – 140.

10. Spektor S.A. (1897) *Elektricheskie izmereniya fizicheskikh velichin*. [Electrical measurements of physical quantities], 320 p.

11. Sebko V.V., Zdorenko V. H. (2017) *Doslidzhennia dvokhparametrovoho metodu kontroliu elektrychnykh ta temperaturnykh parametrov vyrobiv, shcho nahrivaiutsia u protsesi kontroliu*. [The study of twoparametrage control method of electric and thermal parameters of the products, the heating process] BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design. no. 2. P. 59 – 67.

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛОСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ РАЗНОСТНОГО СИГНАЛА МНОГОПАРАМЕТРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СЕБКО В.В. \*, ЗДОРЕНКО В.Г. \*\*

\*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт

\*\*Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Целью статьи является исследование теоретических положений работы теплового трансформаторного электромагнитного преобразователя (ТЭМП) при реализации электромагнитного метода измерительного контроля приращений температурных и электрических параметров немагнитных изделий плоской формы.

**Методика.** Использована методика исследования двухпараметрический электромагнитного метода измерительного контроля параметров немагнитных плоских изделий при использовании теплового ТЭМП.

**Результаты.** Предложен двухпараметрический электромагнитный метод совместного измерительного контроля электрических и температурных параметров немагнитных плоских изделий. На основе предложенных универсальных функций преобразования теплового ТЭМП получены основные соотношения, которые описывают двухпараметрический метод измерительного



контроля приращений удельного электрического сопротивления и температуры алюминиевого плоского образца.

**Научная новизна.** Развита теоретические положения работы теплового ТЭМП с плоским изделием, который нагревается, получены зависимости компонентов сигналов теплового ТЭМП от приращений электрических и температурных параметров плоского изделия.

**Практическая значимость.** Разработан алгоритм реализации теплового двухпараметрического электромагнитного метода измерительного контроля удельного электрического сопротивления  $\rho$  и температуры  $t$  изделий плоской формы на основе измерений и анализа приращений сигналов теплового двухпараметрического электромагнитного преобразователя.

**Ключевые слова:** температура, удельное электрическое сопротивление, метод измерительного контроля, разностный сигнал, тепловой двухпараметрический преобразователь, компоненты сигналов преобразователя.

## MEASUREMENT CONTROL OF TEMPERATURE OF FLAT PRODUCTS BASED ON THE IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF DETERMINING THE COMPONENTS OF THE DIFFERENTIAL SIGNAL MULTIPARAMETER CONVERTER SEBKO V.V.<sup>\*</sup>, ZDORENKO V.G.<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>National Technical University «Kharkov Polytechnic institute»

<sup>\*\*</sup>Kiev National University of Technology and Design

**Purpose.** The purpose of this article is to study theoretical positions of the heat transformer electromagnetic transducer (HTET) in the implementation of the method of electromagnetic measurement control of the increments of thermal and electrical parameters of the non-magnetic product, flat forms.

**Methodology.** The technique used for two-parameter study of the electromagnetic method of measuring control parameters of the non-magnetic flat products when you use heat HTET.

**Findings.** The proposed two-parametric method for joint measurement of electromagnetic control of electric and thermal parameters of the non-magnetic flat products. Based on the proposed generic functions for converting thermal HTET obtained the basic relations that describe the two-parameter method measurement control of the increments of electrical resistivity and temperature of aluminum flat sample.

**Originality.** Developed theoretical principles of operation of the heat HTET with a flat product, which is obtained based on components signals of the heat HTET from the increments of electric and thermal parameters of flat products.

**Practical value.** The algorithm was developed to implement the two-parameter thermal electromagnetic method of measuring and monitoring electrical resistivity  $\rho$  and temperature  $t$  of the flat products forms-based measurement and analysis of increments of the signals of the two-parameter thermal electromagnetic transducer.

**Keywords:** temperature, electrical resistivity, method of measuring and monitoring the differential signal, two-parameter thermal converter, the components of the signals of the converter.