

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-43>

УДК 664.002

СЕБКО Вадим

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

<https://orcid.org/0000-0002-3561-6281>

vadim.sebko@gmail.com

ЗДОРЕНКО Валерій

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-6508-4290>

alzd123@meta.ua

ЗАЩЕПКИНА Наталія

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-9397-6632>

nanic1604@gmail.com

БАРИЛКО Сергій

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-2785-5784>

poo4ta@bigmir.net

ТРИПАРАМЕТРОВИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ДЕТАЛЕЙ ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ І ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

На основі залежностей нормованих характеристик від інформативних параметрів виробу, що включають до себе площу поперечного перерізу пластини S , магнітну проникність μ , питомий електричний опір ρ плаского зразка σ і частотні, амплітудні та фазові компоненти багатопараметрового сигналу, розроблено універсальний трипараметровий метод спільного вимірювального контролю магнітних, електричних і температурних параметрів слабоферромагнітних та ферромагнітних пласких виробів обладнання переробних і харчових виробництв. Описано схеми включення ТЕП, які реалізують запропонований універсальний метод спільного вимірювального контролю параметрів пласких виробів, які передбачають нагрівання пластин у процесі контролю. Сутність запропонованого трипараметрового методу ґрунтується на аналізі взаємодії зовнішнього магнітного поля з магнітним полем вихрових струмів, які наведені збуджувальною котушкою в контрольованому пласкому виробі. При цьому, нормований питомий магнітний потік Kt наводить у пласкому зразку ЕРС теплового ТЕП. Далі на підставі експериментальних даних визначення компонентів сигналів перетворювача та отриманих розрахункових даних, пов'язаних із визначенням нормованих параметрів ТЕП, було встановлено алгоритми вимірювальних і розрахункових процедур. Таким чином, вимірюючи магнітні потоки: Φt у пласкому зразку, опорний магнітний потік Φ_0 та фазовий кут зсуву φ , можна отримати данні про відносну магнітну проникність μ , питомий електричний опір ρ і температуру t . При цьому, будь-яка зміна параметрів μ , ρ і t призводить до зміни узагальненого параметра x , а отже, до зміни амплітудної та фазової складових компонентів сигналів ТЕП зі зразком.

Ключові слова: обладнання харчових виробництв, з'єднувальні елементи, стандартні деталі, пластини, вимірювальна обмотка, спільний вимірювальний контроль, теорія електричних сигналів та кіл, трипараметровий електромагнітний метод, функції перетворення, алгоритми вимірювального контролю, електричні кола та сигнали.

SEBKO Vadim

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

ZDORENKO Valerii, ZASHCHEPKINA Nataliia, BARYLKO Sergii

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

THREE-PARAMETER METHOD FOR CONTROLLING DETAILS OF EQUIPMENT IN PROCESSING AND FOOD INDUSTRIES

Based on the dependences of the normalized characteristics on the informative parameters of the product, which include the cross-sectional area of the plate S , the magnetic permeability μ , the resistivity ρ of the flat sample σ and the frequency, amplitude and phase components of the multi-parameter signal, a universal three-parameter method for joint measurement control of magnetic, electrical and temperature parameters of weakly ferromagnetic and ferromagnetic flat products of processing and food production equipment has been developed. The TEP switching schemes that implement the proposed universal method for joint measurement control of the parameters of flat products, which involve heating of the plates during the control process, are described. The essence of the proposed three-parameter method is based on the analysis of the interaction of the external magnetic field with the magnetic field of eddy currents, which are induced by the exciting coil in the controlled flat product. In this case, the normalized specific magnetic flux Kt induces the EMF of the thermal TEP in the flat sample. Further, based on the experimental data of the determination of the components of the converter signals and the obtained calculation data related to the determination of the normalized parameters of the TEP, the algorithms of the measuring and calculation procedures were established. Thus, by measuring the magnetic fluxes: Φt in a flat sample, the reference magnetic flux Φ_0 and the phase shift angle, it is possible to obtain data on the relative magnetic permeability μ , the electrical resistivity ρ and the temperature t . In this case, any change in the parameters μ , ρ and t leads to a change in the generalized parameter x , and therefore, to a change in the amplitude and phase components of the TEP signals with the sample.

Keywords: food production equipment, connecting elements, standard parts, plates, measuring winding, common measuring control, theory of electrical signals and circuits, three-parameter electromagnetic method, conversion functions, measuring control algorithms, electrical circuits and signals.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

На сьогодні, у зв'язку зі збільшенням обсягів виробництва харчових продуктів особливого значення набувають методи і пристрої неруйнівного контролю (НК) деталей і вузлів обладнання переробних і харчових виробництв. Універсальність і широкі функціональні можливості, які використовують у вимірювальному контролі деталей, вузлів і конструкцій обладнання переробних і харчових виробництв, становлять основну перевагу вихрострумівих (електромагнітних) методів контролю [1- 4]. Сутність цих методів полягає в тому, що збуджувальне змінне магнітне поле, тобто його магнітний потік, що пронизує переріз суцільного виробу, спричиняє появу вихрової ЕРС, під дією якої протікають вихрові струми, що створюють свій магнітний потік, який геометрично складається зі збуджувальним магнітним потоком, утворюючи результуючий магнітний потік Φ_r та фазовий кут зсуву φ_r поміж опорною ЕРС та ЕРС, зумовленою магнітним потоком у самому виробі, що контролюється. При цьому, результуючий магнітний потік створює ЕРС E_2 та фазовий кут зсуву φ_2 у вимірювальній обмотці трансформаторного електромагнітного перетворювача ТЕР, а також активний опір R та індуктивність L параметричного електромагнітного перетворювача ПЕР [2- 4]. До переваги ТЕР слід також віднести, те що під час їхнього використання практично не виникає температурна похибка, яка пов'язана з нагріванням намагнічувальної обмотки через протікання струму та впливом температури навколишнього середовища. Для усунення цього впливу намагнічувальний струм, як правило, підтримують постійним, водночас зберігається постійним і магнітний потік у виробі Φ , який у цьому разі залежить тільки від параметрів плоского виробу, тому, якщо є така можливість, необхідно усунути вплив температури на електромагнітні параметри [6-10].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ І ОГЛЯД ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Слід визначити, що на сьогодні в сучасних наукових працях, описана в основному теорія роботи екстремальних ТЕР з плоскими виробами. В роботах [11-14] отримано універсальні функції перетворення, на підставі яких розроблено електромагнітні двопараметрові та трипараметрові методи, проведено аналіз похибок вимірювань параметрів плоских виробів у двох і трипараметровому варіанті. До недоліків методів і електромагнітних пристроїв, описаних у роботах [11-14], можна віднести, що не зрозуміло вплив пологості екстремуму на результати вимірювань електромагнітних параметрів, зокрема також, залишено поза увагою частотний діапазон зміни магнітного поля, що зондує плоскі вироби.

У роботі [15] розглянуто питання підвищення точності та чутливості ТЕР до параметрів плоских виробів. Недоліками роботи [15] є те, що отримані співвідношення є досить складними та неточними, зокрема під час здійснення вимірювань необхідно також уточнювати частоту, що ускладнює процес автоматизації вимірювань параметрів плоских виробів. Таким чином, не дивлячись на те, що теорія роботи ТЕР з немагнітними і феромагнітними плоскими виробами описана в роботах [11-15], на теперішній час не досліджено теоретичні питання визначення змінних магнітних потоків та їх фазових кутів усередині плоского виробу, що нагрівається, не розроблено універсальний електромагнітний метод вимірювального контролю магнітних, електричних та температурних параметрів, який надає можливість контролювати як слабоферомагнітні, так і феромагнітні плоскі вироби обладнання переробних і харчових виробництв.

Таким чином, коло розв'язання майбутніх завдань суттєво розширюється й ускладнюється, створюючи важливу практичну й наукову проблему, суть якої полягає у створенні багатопараметрових широкомежових методів спільного вимірювального контролю магнітних, електричних і температурних параметрів деталей, вузлів і конструкцій обладнання переробних і харчових виробництв.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою роботи є розробка універсального багатопараметрового електромагнітного методу спільного вимірювального контролю магнітних, електричних і температурних параметрів слабоферомагнітних і феромагнітних плоских виробів обладнання переробних і харчових виробництв.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Навести послідовність вимірювальних і розрахункових процедур спільного вимірювального контролю відносної магнітної проникності μ_r , питомого електричного опору ρ_r і температури t слабоферомагнітних і феромагнітних плоских виробів.
2. Одержати основні співвідношення, які описують безконтактний багатопараметровий електромагнітний метод спільного вимірювального контролю магнітних, електричних і температурних параметрів досліджуваних плоских виробів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Трипараметровий вимірювальний контроль фізико-механічних параметрів плоских виробів розглянемо далі. На рис. 1 з урахуванням результатів робіт [10-15], надано схему вимірювального контролю магнітних, електричних і температурних параметрів плоских зразків. Схема передбачає попередні вимірювання амплітудних та фазових складових компонентів багатопараметрового сигналу при зміні

температури пластини, що контролюється в діапазоні від 20°C до 150°C . Схема містить: ДСН - джерело синусоїдальної напруги, ІЧ - вимірювач частоти, вольтметри V_1, V_2, V_3 , трансформаторний електромагнітний перетворювач (ТЕП). ТЕП включає до себе три ідентичних електромагнітних перетворювача: РП - робочий перетворювач, у якому конструктивно передбачено нагрівальний пристрій - ГУ; КП - компенсаційний перетворювач, виконаний у вигляді варіометра для компенсації паразитної ЕРС E_1 (зумовленої проходженням магнітного потоку в повітряному проміжку між П пластиною, що розміщується в ГУ, та вимірювальною обмоткою РП); ОП - опорний перетворювач, призначений для вимірювання опорної ЕРС E_0 . Числа витків вимірювальних обмоток однакові й підібрані таким чином, щоб різниця ЕРС $E_{\text{внт}}$ на з'єднанні, зазначеному на рис. 1, дорівнювала нулю (за відсутності пластини в РП). При внесенні пластини в тепловий ТЕП з'являється різниця ЕРС $E_{\text{внт}} > 0$, яку вимірюють вольтметром V_2 за різних температур плоского виробу, в діапазоні $t = [20 \dots 150^{\circ}\text{C}]$ з конкретним кроком. Вольтметром V_3 реєструється ЕРС E_0 (ЕРС при відсутності зразка). Фазовий кут $\varphi_{\text{внт}}$ між ЕРС E_0 і $E_{\text{внт}}$, вимірюється фазометром Φ .

Точками на схемі позначено включення обмоток. У якості контрольного метода визначення температури t , застосовують термометри опору платинові (ТСП) - які закріплюються безпосередньо на пластині (за допомогою клею БФ2). У якості контрольних методів вимірювання μ_t і ρ_t застосовують відповідно міст постійного струму і цифровий магнетоскоп. Зміна температури впливає на результати вимірювань електромагнітних параметрів зразків, при цьому змінюється температура зовнішнього середовища і температура ТЕП (намагнічувальна обмотка ТЕП нагрівається, а через тонкий каркас і повітряний зазор поміж пластиною й обмоткою ТЕП нагрівається плоский виріб, що контролюється). Все це пояснюється тим, що під впливом температури змінюється опір обмотки ТЕП, що відповідно призводить до зміни значень намагнічувального струму і магнітного потоку Φ , який проходить у зразку і, як наслідок, до виникнення похибок вимірювань параметрів μ_t , ρ_t і t плоского зразка. Тому необхідно термоізулювати обмотки ТЕП і застabilізувати струм I , для збереження постійної величини намагнічувального струму і магнітного потоку Φ_2 у плоскому зразку. Для стабілізації струму використовується баретер - Б, який вмикається послідовно з намагнічувальною обмоткою теплового ТЕП. Схема включення теплового ТЕП з феромагнітним плоским виробом наведена на рис. 2. Схема включає до себе генератор - Г синусоїдальних сигналів, Ч - частотомір, два ідентичних перетворювача РП і ОП.

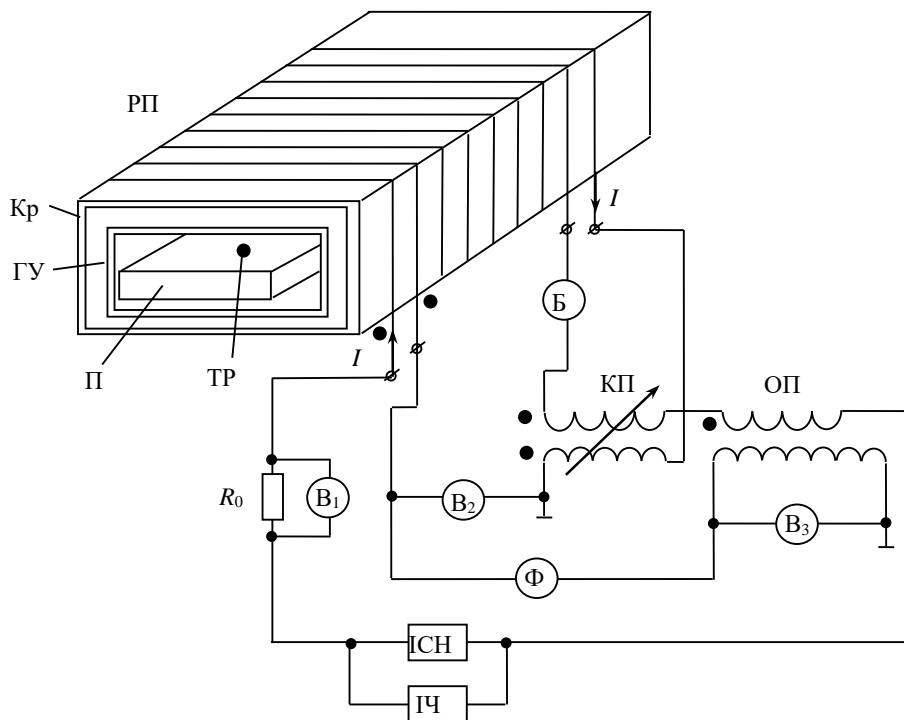


Рис. 1. Схема включення ТЕП з плоским виробом, що контролюється

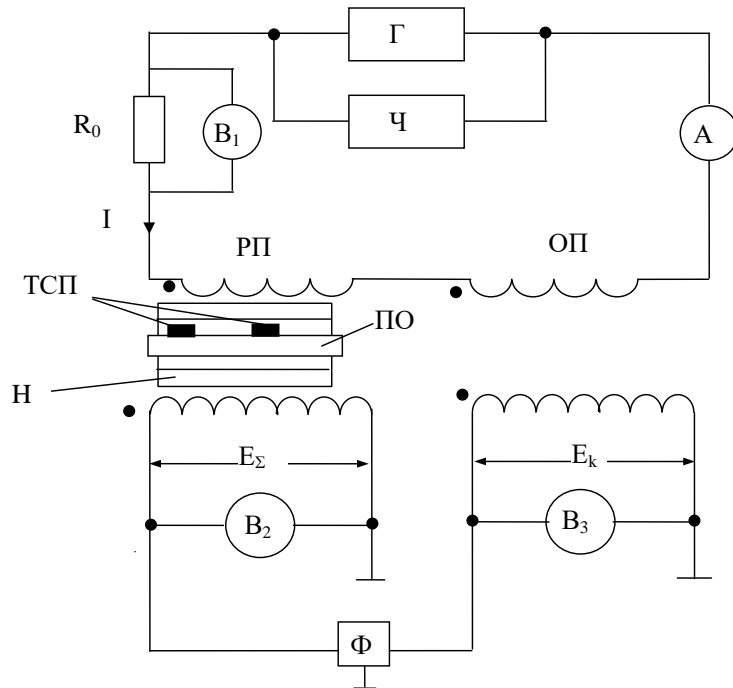


Рис. 2. Схема включення ТЕП з плоским ферромагнітним виробом, що контролюється

Слід визначити, що у даному випадку компенсацію ефектів повітряного проміжку не проводять, вважають, що вимірювальну обмотку нанесено безпосередньо на плоский зразок, що контролюється. При цьому вольтметром V_1 реєструється ЕРС $E_{\Sigma t}$ при різних температурах пластини П, що контролюється (температура змінюється за допомогою ГУ). Амперметром вимірюється струм I_n у намагнічувальній обмотці, а фазометром реєструється фазовий кут φ_{0t} поміж ЕРС E_0 і $E_{\Sigma t}$.

Слід визначити, що сигнали ТЕП: $E_{внт}$ і $\varphi_{внт}$ (схема на рис. 1), а також $E_{\Sigma t}$ і φ_{0t} (рис. 2), залежать від температури t . На рис. 3 надано векторну діаграму ЕРС і фазових кутів зсуву ТЕП. Тут E_0 - опорна ЕРС ТЕП без плоского виробу; $E_{\Sigma t}$ - сумарна ЕРС ТЕП; E_2 - ЕРС, обумовлена проходженням магнітного потоку Φ в провідному плоскому виробі, E_1 - паразитна ЕРС. На діаграмі позначено також фазовий кут зсуву φ_{0t} - кут зсуву поміж E_0 і $E_{\Sigma t}$ і фазовий кут $\varphi_{внт}$ - кут зсуву поміж ЕРС E_0 і $E_{внт}$.

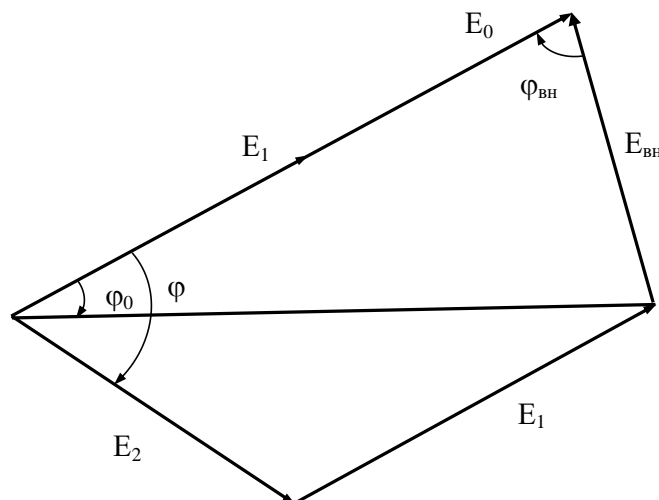


Рис. 3. Векторна діаграма ЕРС і фазових кутів зсуву ТЕП з плоским виробом, що нагрівається в процесі контролю

Далі необхідно навести послідовність вимірювальних і розрахункових процедур спільного електромагнітного контролю параметрів слабоферромагнітних і ферромагнітних плоских виробів.

За відомої напруженості магнітного поля H в середині ТЕП, можна визначити магнітну сприйнятливість k плоского зразка:

$$k = \frac{j l_d}{I_H w_H} \quad (1)$$

де w_H – число витків намагнічувальної обмотки ТЕП; l_d – довжина намагнічувальної обмотки. При цьому формули для визначення ЕРС E_{2t} та фазового кута φ_t , можна записати у вигляді:

$$E_{2t} = \sqrt{E_{\Sigma t}^2 + E_0^2 - 2 E_{\Sigma t} E_0 \cos \varphi_t} \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_t = - \frac{E_{\Sigma t} \sin \varphi_{0t}}{E_{\Sigma t} \cos \varphi_{0t} - E_0} \quad (3)$$

Далі якщо $k \leq 1$, знаходимо питомий електричний опір ρ_t слабоферомагнітної пластини попередньо визначивши параметр x_t , при застосуванні функцій перетворення отриманих у роботі [15]:

$$E_{2t} = \sqrt{E_{\Sigma t}^2 + E_0^2 - 2 E_{\Sigma t} E_0 \cos \varphi_t} \quad (4)$$

Далі визначаємо середню по перерізу температуру слабоферомагнітної пластини, знаючи температурний коефіцієнт опору (ТКС) α :

$$t = \left(\frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \right) \left(\frac{x_t^2 \mu_0 (1 + k) \pi f}{\rho_1 d^2} - 1 \right) + t_1 \quad (5)$$

Результати спільного вимірювального контролю відносної магнітної проникності μ_{rt} , питомого електричного опору ρ_t і температури t слабоферомагнітної пластини наведено в табл.1.

Таблиця 1

Результати визначення відносної магнітної проникності μ_{rt} , питомого електричного опору ρ_t і температури t слабоферомагнітного плоского зразка

$t', \text{ }^\circ\text{C}$	$f_0, \text{ Гц}$	$E_{\Sigma t}, \text{ В}$	$E_0, \text{ В}$	$\varphi_0, \text{ град}$	μ_{rt}	$\rho_t \cdot 10^7, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$
20	548,45	1,545	1,887	53,02	2,98	7,408	20,40
40	557,46	1,570	1,918	53,02	3,00	7,529	40,00
100	584,46	1,647	2,011	53,02	2,99	7,893	100,3
150	602,47	1,697	2,073	53,02	3,04	8,136	150,50

Для визначення відносної магнітної проникності μ_{rt} феромагнітної пластини, тобто за умови $k \gg 1$ при вимірних значеннях ($E_{\Sigma t}$, E_{2t} , E_0 і φ_t), з урахуванням [3-11], запишемо вираз:

$$\mu_{rt} = \frac{d_k h_k E_{2t}}{E_0 d h k_t} \quad (6)$$

де k_t - залежна від температури нормована величина ЕРС E_{2t} .

Величину ρ_t феромагнітної пластини, знаходимо з виразу:

$$\rho_t = \frac{d_k h_k E_{2t} x_t^2 \mu_0 \pi f}{E_0 h k_t d^3} \quad (7)$$

Температуру феромагнітної пластини, визначаємо за формулою:

$$t = \left(\frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \right) \left(\frac{d_k h_k E_{2t} x_t^2 \mu_0 \pi f}{\rho_t E_0 h k_t d^3} - 1 \right) + t_1 \quad (8)$$

Таким чином, при $k \gg 1$ ми переходимо до схеми включення ТЕП на рис. 2 і, виміривши $E_{\Sigma t}$, E_0 і φ_{0t} визначаємо фазовий кут φ_t за формулою (3), а потім, скориставшись табл. 1, визначаємо параметри x_t і k_t , після чого, за формулами (6) - (8), знаходимо відносну магнітну проникність μ_{rt} , питомий електричний опір ρ_t і середню за перерізом температуру t феромагнітної пластини. Результати спільного вимірювального

контролю відносної магнітної проникності μ_r , питомого електричного опору ρ_t і температури t феромагнітної пластини наведено в табл.2.

Таблиця 2

Результати визначення магнітних, електричних і температурних параметрів феромагнітного плоского зразка

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_t, \text{Ом}\cdot\text{м}$	μ_r	$f_t, \text{Гц}$	$t, ^\circ\text{C}$
20	$2\cdot 10^{-7}$	110	1000	20
40	$2,13\cdot 10^{-7}$	112,6	1036	39,36
80	$2,4\cdot 10^{-7}$	117,7	1117	79,56
100	$2,54\cdot 10^{-7}$	120,3	1156	100,4
150	$2,87\cdot 10^{-7}$	126,8	1240	149,53

**ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ**

Наведені в роботі результати, надають змогу визначити коло завдань для розв'язання важливої наукової та практичної проблеми, суть якої полягає у створенні теорії роботи теплових ТЕП для вимірювального контролю параметрів плоских деталей і виробів обладнання переробних і харчових виробництв під час їхнього виготовлення та експлуатації.

У рамках розв'язання цієї проблеми запропоновано трипараметровий електромагнітний метод спільного вимірювального контролю магнітних, електричних і температурних параметрів слабоферомагнітних і феромагнітних плоских виробів на основі двох схем включення теплового ТЕП.

Наведено послідовність вимірювальних і розрахункових процедур спільного вимірювального контролю магнітної сприйнятливості k , питомого електричного опору ρ_t і температури t слабоферомагнітних плоских виробів, а також відносної магнітної проникності μ_r , питомого електричного опору ρ_t і температури t феромагнітних пластин. Отримано основні співвідношення для визначення магнітних, електричних і температурних параметрів плоских виробів, що контролюються.

Науковою новизною статті є розроблений трипараметровий метод спільного електромагнітного контролю параметрів плоских виробів і стандартних деталей обладнання харчових і переробних виробництв, реалізація якого здійснюється на підставі двох схем включення теплового ТЕП. Практичне значення статті полягає в тому, що запропонований трипараметровий електромагнітний метод надає змогу контролювати виробу і стандартні плоскі деталі в процесі виробництва, запланованого ремонту та експлуатації деталей, виробів і конструкцій машин та апаратів хімічних та харчових виробництв.

Перспективи подальших досліджень полягають у створенні електромагнітних методів і пристроїв, які їх реалізують, на основі накладних перетворювачів для вимірювання товщини гальванічних покриттів, лакофарбових і спеціальних покриттів, контролю поверхонь недоступних ділянок з'єднань обладнання переробних і харчових виробництв, дефектів і розшарувань циліндричних і плоских деталей, виконаних із немагнітних і феромагнітних матеріалів.

Література

1. Самойчук К. О., Бойко В. С., Олексієнко В. О. та ін. [Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв: підручник](#); за ред. 1. Самойчука К.О. – Київ: ПрофКнига, 2020. 428с.
2. Чинков В.М. Основи метрології та вимірювальної техніки / Навчальний посібник / Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ". -2005. 524 с.
3. Білокур І.П. Основи дефектоскопії. Підручник // І.П. Білокур Київ: «Азимут-Україна», 2004. 496 с.
4. Троїцький В. А. Вихрострумний контроль. Навчальний посібник / В. А. Троїцький. Київ. «Фенікс». 2011. С. 148.
5. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994. – Чинний від 01.01.95. – 24 с.
6. Бабак В.П., Маєвський С.М., Щербак Л.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі: навч. посіб. Київ: Либідь, 1993. 194 с.
7. Бабак В.П., Хандецький В.С. Обробка сигналів. Київ: «Либідь», 1999. 495 с.
8. Обшта А. Ф., Стащук М. Г., Горопацький В. Г. Математична модель оцінки взаємовпливу робочих середовищ, конструкцій та елементів давачів при фізико-хімічних вимірюваннях. Вісник НУ "Львівська політехніка" Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. Львів, 2004. № 522. С. 186 – 192.

9. Середюк О.Є., Барна О.Б., Криницький О.С. Електричний, магнітний та електромагнітний види неруйнівного контролю в нафтовій галузі: навчальний посібник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 348 с.
10. Маєвський С.М. Фазовимірювальні системи неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: навчальний посібник. КІП ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 3,46 Мбайт). Київ: КІП ім. Ігоря Сікорського, 2018. 288 с.
11. Тетерко А.Я. Метод формування інформаційного сигналу та підвищення точності вихрострумовевого контролю питомої електричної провідності матеріалу із виключенням впливу зазору / А.Я. Тетерко, Г.Г. Луценко, В.І. Гутник, О.А. Тетерко // Відбір і обробка інформації. Львів, 2016. – Вип. 43 (119). – С.5–11.
12. S. Majidnia, J. Rudlin, R. Nilavalan, Investigations on a pulsed eddy current system for flaw detection using an encircling coil on a steel pipe, Insight: Non-Destructive Testing and Condition Monitoring 56/10 (2014) P. 560-565.
13. Себко В.П., Кириченко Р.И. Электромагнитный метод определения двух параметров плоского изделия на основе экстремума фазового угла преобразователя // Научные работы III-й Международной научно-технической конференции "Метрология та вимірювальна техніка (Метрологія 2002)". – Харків. - 2002. – С. 129-132.
14. V. Arjun, B. Sasi, B. Purna, C. Rao, C.K. Mukhopadhyay, T. Jayakumar, Optimisation of pulsed eddy current probe for detection of sub-surface defects in stainless steel plates, Sensors and Actuators A: Physical 226 (2015). P. 69-75.
15. Себко В.В., Здоренко В.Г. Визначення метрологічних характеристик теплового трансформаторного вихрострумовевого перетворювача з плоским виробом, що нагрівається в процесі контролю Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – Київ: КНУТД, 2016. – №4 (100). – С. 20 – 28.
16. D. Zhou, J. Wang, Y. He, D. Chen, K. Li, Influence of metallic shields on pulsed eddy current sensor for ferromagnetic materials defect detection, Sensors and Actuators A: Physical 248 (2016) P. 162-167.
17. [Yong Lia](#), [Bei YanaWenjia](#), [LiaHaoqing Jinga](#), [Zhenmao ChenaDaLib](#) Pulse-modulation eddy current probes for imaging of external corrosion in nonmagnetic pipes [NDT & E International Volume 88](#), June 2017. P. 51-58.

References

1. Samoichuk K. O., Boiko V. S., Oleksienko V. O. ta in. Osnovy rozrakhunku ta konstruiuvannya obladnannya pererobnykh i kharchovykh vyrobnystv: pidruchnyk; za red. I. Samoichuka K.O. – Kyiv: ProfKnyha, 2020. 428 p.
2. Chynkov V.M. Osnovy metrolohii ta vymiriuvalnoi tekhniki / Navchalnyi posibnyk / Natsionalnyi tekhnichniy universytet "Kharkivskiy politekhnichnyi instytut". – Kharkiv: NTU "KhPI". -2005. 524 p.
3. Bilokur I.P. Osnovy defektoskopii. Pidruchnyk // I.P. Bilokur Kyiv: «Azmut-Ukraina», 2004. 496 p.
4. Troitskiy V. A. Vykhorstromoviy kontrol. Navchalnyi posibnyk / V. A. Troitskiy. Kyiv. «Feniks». 2011. S. 148.
5. DSTU 2389-94. Tekhnichne diahnostuvannya ta kontrol tekhnichnoho stanu. Terminy ta vyznachennia. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 1994. – Chynnyi vid 01.01.95. – 24 p.
6. Babak V.P., Maievskiy S.M., Shcherbak L.M. Osnovy pobudovy system analizu syhnaliv u neruivnomu kontroli: navch. posib. Kyiv: Lybid, 1993. 194 p.
7. Babak V.P., Khandetskiy V.S. Obrobka syhnaliv. Kyiv: «Lybid», 1999. 495 p.
8. Obshta A. F., Stashchuk M. H., Horopatskiy V. H. Matematychna model otsinky vzaiemovplyvu robochykh seredovysch, konstruktssii ta elementiv davachiv pry fizyko-khimichnykh vymiriuvanniakh. Visnyk NU "Lvivska politekhnika" Komp'uterni systemy proektuvannya. Teoriia i praktyka. Lviv, 2004. № 522. P. 186 – 192.
9. Serediuk O.Ye., Barna O.B., Krynytskyi O.S. Elektrichnyi, mahnitnyi ta elektromahnitnyi vydy neruivnogo kontroliu v naftovii haluzi: navchalnyi posibnyk. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2017. 348 p.
10. Maievskiy S.M. Fazovymiriuvalni systemy neruivnogo kontroliu [Elektronnyi resurs]: navchalnyi posibnyk. KPI im. Ihoria Sikorskoho. Elektronni tekstovi dani (1 fail: 3,46 Mбайт). Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2018. 288 p.
11. Teterko A.Ya. Metod formuvannya informatsiinoho syhnalu ta pidvyshchennia tochnosti vykhrostromovevogo kontroliu pytomoi elektrychnoi providnosti materialu iz vykliuchenniam vplyvu zazoru / A.Ya. Teterko, H.H. Lutsenko, V.I. Hutnyk, O.A. Teterko // Vidbir i obrobka informatsii. Lviv, 2016. – Vyp. 43 (119). – P.5–11.
12. S. Majidnia, J. Rudlin, R. Nilavalan, Investigations on a pulsed eddy current system for flaw detection using an encircling coil on a steel pipe, Insight: Non-Destructive Testing and Condition Monitoring 56/10 (2014) P. 560-565.
13. Sebko V.P., Kyrychenko R.Y. Elektromahnytnui metod opredeleniya dvukh parametrov ploskogo yzdeliya na osnove ekstremuma fazovogo uhla preobrazovatelya // Naukovi pratsi III-i Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Metrolohiia ta vymiriuvalna tekhnika (Metrolohiia 2002)". – Kharkiv. - 2002. – P. 129-132.
14. V. Arjun, B. Sasi, B. Purna, C. Rao, C.K. Mukhopadhyay, T. Jayakumar, Optimisation of pulsed eddy current probe for detection of sub-surface defects in stainless steel plates, Sensors and Actuators A: Physical 226 (2015). P. 69-75.
15. Sebko V.V., Zdorenko V.H. Vyznachennia metrolohichnykh kharakterystyk teplovoho transformatornoho vykhorostrumovevogo peretvoriuvacha z ploskym vyrobom, shcho nahrivaetsia v protsesi kontroliu Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – Kyiv: KNUITD, 2016. – №4 (100). – P. 20 – 28.
16. D. Zhou, J. Wang, Y. He, D. Chen, K. Li, Influence of metallic shields on pulsed eddy current sensor for ferromagnetic materials defect detection, Sensors and Actuators A: Physical 248 (2016) P. 162-167.
17. Yong Lia, Bei YanaWenjia, LiaHaoqing Jinga, Zhenmao ChenaDaLib Pulse-modulation eddy current probes for imaging of external corrosion in nonmagnetic pipes NDT & E International Volume 88, June 2017. P. 51-58.