

Є. В. ПИРОЖЕНКО, В. В. СЕБКО, В. Г. ЗДОРЕНКО, В. М. БАБЕНКО, Н. А. ЗАБИЯКА

ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНІТНОЇ РІДИНИ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Запропоновано безконтактний трипараметровий електромагнітний метод сумісного визначення магнітної сприйнятливості κ , питомої електричної провідності χ та температури t зразка магнітної рідини. Розглянуто теоретичні положення роботи індуктивного параметричного електромагнітного перетворювача (ІПЕП) з пробєю магнітної рідини. В результаті дослідження універсальних функцій перетворення ІПЕП з пробєю магнітної рідини, отримали подальший розвиток теоретичні положення роботи ІПЕП стосовно можливості оцінювання статичних параметрів магнітних рідин. Оскільки урахування впливу вихрових струмів призводить до необхідності визначення трьох параметрів магнітних рідин тільки одним ІПЕП, доведена необхідність використання схеми включення індуктивного ІПЕП з пробєю магнітної рідини, яка передбачає компенсацію заважаючої зовнішньої індуктивності L_1 за допомогою компенсуючої ємності P567 задля підвищення точності вимірювань фізико-хімічних параметрів магнітних рідин. Роботу схеми, засновано на тому, що вихрова ЕРС збуджує магнітний потік у зразку досліджуваної магнітної рідини, котрий складається геометрично зі збуджуючим магнітним потоком від зовнішнього джерела, створюючи результуючий магнітний потік Φ_{2t} у досліджуваному зразку магнітної рідини, при цьому результуючий магнітний потік зменшується за величиною і зсувається за фазовим кутом по відношенню до збуджуючого магнітного потоку, а все це в свою чергу, призводить до змінення компонентів сигналів ІПЕП, а саме: індуктивності L_{it} та опору Ω_{2t} , які пов'язані з фізико-хімічними параметрами κ , χ і t зразка магнітної рідини. У подальших дослідженнях, задля підвищення ефективності очищення стічних вод міні-пивоварні, рекомендується застосування магнітної рідини у комплексних методах очищення, які передбачають застосування магнітних рідин у фільтрах доочищення стічних вод харчових виробництв кислого та лужного складу.

Ключові слова: методи очищення, магнітна рідина, магнітна сприйнятливість, питома електрична провідність, температура, сумісні вимірювання, трипараметровий метод, функції перетворення, міні-пивоварня, стічні води, фільтр доочищення.

Є. В. ПИРОЖЕНКО, В. В. СЕБКО, В. Г. ЗДОРЕНКО, В. М. БАБЕНКО, Н. А. ЗАБИЯКА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Предложен бесконтактный трёхпараметровый электромагнитный метод измерений магнитной восприимчивости κ , удельной электропроводности χ и температуры t образца магнитной жидкости. Рассмотрены теоретические положения работы индуктивного параметрического электромагнитного преобразователя (ИПЭП) с пробой магнитной жидкости. В результате исследований универсальных функций преобразования ИПЭП с пробой магнитной жидкости, получили дальнейшее развитие теоретические положения работы ИПЭП, которые связаны с возможностью оценки статических параметров магнитной жидкости. Поскольку, учет воздействия вихревых токов приводит к необходимости определения трёх параметров магнитных жидкостей только одним ИПЭП, доказана необходимость использования схемы включения индуктивного ИПЭП с пробой магнитной жидкости, которая предусматривает компенсацию мешающей внешней индуктивности L_1 с помощью компенсирующей ёмкости P567 для повышения точности измерений физико-химических параметров магнитных жидкостей. Работу схемы основано на том, что вихревая ЭДС возбуждает магнитный поток в образце исследуемой магнитной жидкости, который складывается геометрически с возбуждаемым магнитным потоком от внешнего источника, создавая результирующий магнитный поток Φ_{2t} в исследуемом образце магнитной жидкости, при этом результирующий магнитный поток уменьшается по величине и смещается на фазовый угол по отношению к возбуждаемому магнитному потоку, все это приводит к изменению компонентов сигналов ИПЭП, то есть: индуктивности L_{it} и сопротивления Ω_{2t} , которые связаны с физико-химическими параметрами κ , χ и t образца магнитной жидкости. В дальнейших исследованиях, для повышения эффективности очистки сточных вод мини-пивоварни, рекомендуется использование магнитной жидкости в комплексных методах очистки, которые предусматривают применение магнитных жидкостей в фильтрах доочистки сточных вод пищевых производств кислого и щелочного состава.

Ключевые слова: методы очистки, магнитная жидкость, магнитная восприимчивость, удельная электрическая проводимость, температура, совместные измерения, трёхпараметровый метод, функции преобразования, мини-пивоварня, сточные воды, фильтр доочистки.

Є. В. PIROZHENKO, V. V. SEBKO, V. G. ZDORENKO, V. M. BABENKO, N.A. ZABIYAKA

DETERMINATION OF THE PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF A MAGNETIC LIQUID IN THE IMPLEMENTATION OF THE METHOD BASED ON AN ELECTROMAGNETIC CONVERTER

A non-contact three-parameter electromagnetic method for measuring magnetic susceptibility κ , electrical conductivity χ , and temperature t of a ferrofluid sample is proposed. Theoretical principles of the operation of the inductive parametric electromagnetic transducer (IPET) with a sample of ferro-fluid are considered. As a result of studies of the universal functions of transformation of the IPET with a sample of the ferro-fluid, the theoretical provisions of the work of the IPET were further developed, which are related to the possibility of estimating the static parameters of the magnetic fluid. Because record of the effect of eddy currents leads to the need to determine three parameters of magnetic fluids with only one IPET, the necessity of using an inductive IPET switching circuit with a ferro-fluid sample, which provides for compensation of interfering external inductance L_1 using a compensating capacitance P567 to improve the accuracy of measurements of the physical and chemical parameters of magnetic fluids, has been proved. The operation of the circuit is based on the fact that the eddy EMF excites a magnetic flux in the sample of the magnetic fluid under study, which is added geometrically with the excited magnetic flux from an external source, creating the resulting magnetic flux Φ_{2r} in the sample of the magnetic fluid under study, while the resulting magnetic flux decreases in magnitude and shifts by the phase angle in relation to the excited magnetic flux, all this leads to a change in the components of the signals of the IPET, that is: inductance L_{ir} and resistance Ω_{2r} , which are associated with the physicochemical parameters κ , χ and t of the magnetic fluid sample.

In further studies, in order to increase the efficiency of wastewater treatment of a mini-brewery, it is recommended to use a magnetic fluid in complex cleaning methods that involve the use of magnetic fluids in filters for post-treatment of wastewater from food production of acidic and alkaline composition.

Keywords: cleaning methods, magnetic fluid, magnetic susceptibility, electrical conductivity, temperature, joint measurements, three-parameter method, conversion functions, microbrewery, wastewater, post-treatment filter.

Вступ

На сьогодні, особливе значення у зв'язку з неперервним зростанням випуску продукції харчової та хімічної галузей, набуває застосування магнітних рідин. При цьому, досить широко розповсюджені магнітні рідини, які застосовують в екологічних апаратах для очищення води від нафтопродуктів, а також магнітні рідини, які використовують в сепараторах немагнітних матеріалів [1–3]. Слід визначити, що до теперішнього часу магнітні рідини практично не застосовували для очищення стічних вод харчових виробництв. На теперішній час, до найбільш розвинутих галузей вітчизняної харчової промисловості слід віднести галузі, які пов'язано з виробництвом безалкогольних та слабоалкогольних напоїв, при цьому значних темпів досягає саме продукція пивоваріння. Значний рівень споживання води у пивоварній галузі обумовлює великий обсяг утворення стічних вод, які мають високу ступінь забрудненості і становлять небезпеку для навколишнього середовища, саме тому завдання, які пов'язано з розробкою та удосконаленням способів очищення та доочищення стічних вод харчових виробництв є актуальними [2]. Слід визначити, що забруднення, які містять лужні та кислі стічні води пивоварних виробництв, потрапляючи у природні та штучні водойми викликають змінення хімічного складу води та як наслідок призводять до змінення умов існування живих організмів та навіть до загибелі у цілому всього біоценозу [2]. Саме тому, для міні-пивоварні, у зв'язку з практично відсутнім контролем складу стічних вод, удосконалення відомих і розробка нових способів очищення стічних вод перед скидом стоків безпосередньо у міську каналізацію, є важливим і актуальним завданням. Всі ці обставини, ставлять в ряд найбільш актуальних питань розробки й оптимізації методів та пристроїв вимірювань фізико-хімічних параметрів магнітних рідин, особливо в процесі експлуатації магнітних рідин в екологічних апаратах та пристроях для очищення водойм та стічних вод. Причому, відповідні дослідження необхідно здійснювати не тільки в процесі виготовлення магнітних рідин у профільних лабораторіях та підприємствах, а й в процесі експлуатації рідин, наприклад, під час втрати паспортних даних або під час тривалого зберігання (властивості рідини можуть змінюватися унаслідок впливу зовнішніх факторів).

Оцінювання якості магнітних рідин здійснюється за основними статичними характеристиками: магнітною сприйнятливостю κ , питомою електричною провідністю χ та температурою t , таким чином, знаючи параметри κ , χ і t є можливим знайти оптимальні пропорції поміж рідинною основою, поверхнево-активною речовиною (ПАР) та концентрацію магнітної пудри під час виготовлення магнітної рідини [1]. Саме тому, виникає необхідність у розробці багатопараметрових методів та пристроїв на основі яких здійснюється реалізація сумісного визначення параметрів κ , χ і t магнітних рідин, які застосовуються для очищення стічних вод.

При реалізації існуючих електромагнітних методів на базі індуктивних параметричних електромагнітних перетворювачів (ШЕП), визначають параметри циліндричних та плоских виробів деталей, вузлів та конструкцій обладнання машинобудування [4–14], однак на теперішній час не було розглянуто роботу ШЕП стосовно сумісних вимірювань параметрів магнітних рідин. ШЕП містить до себе одну універсальну індуктивну обмотку, яка суміщує функції створення магнітного потоку, вимірювання інформативних параметрів котушки та нагрівання зразка в процесі вимірювань [5]. Слід визначити, що реалізація методів багатопараметрового

вимірювального контролю деталей, вузлів та конструкцій, а також зразків рідинних та газоподібних середовищ на базі параметричних електромагнітних пристроїв, пов'язана зі складністю універсальних функцій перетворення та впливом на результати вимірювань об'єктів, що контролюються, температурної похибки, тобто такої похибки, яка виникає за рахунок змінення опору намагнічувальної обмотки параметричних перетворювачів [4–14].

На сьогодні, немає даних щодо особливості роботи теплових ППЕП з пробами рідин з різною концентрацією магнітної пудри, не відомі універсальні функції перетворення ППЕП з пробами магнітних рідин різної концентрації магнітної пудри, а також прості алгоритми вимірювальних та розрахункових процедур визначення фізико-хімічних параметрів магнітних рідин за допомогою ППЕП.

Тому виникає важлива науково-практична проблема, суть якої полягає у розв'язанні комплексу завдань, пов'язаних зі створенням багатопараметрових електромагнітних методів сумісних вимірювань фізико-хімічних параметрів проб магнітних рідин на основі ППЕП.

Метою даної статті є дослідження багатопараметрового електромагнітного метода вимірювань магнітної сприйнятливості κ , питомої електричної провідності χ та температури t зразка магнітної рідини, яку застосовують для очищення стічних вод міні-пивоварні.

Для досягнення мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- 1) дослідити теоретичні положення роботи ППЕП зі зразком магнітної рідини на водній основі;
- 2) на базі алгоритмів вимірювальних та розрахункових процедур отримати основні співвідношення, які описують реалізацію електромагнітного метода вимірювань магнітної сприйнятливості κ , питомої електричної провідності χ та температури t зразка магнітної рідини за допомогою теплового ППЕП.

Теорія роботи електромагнітних перетворювачів заснована на введенні спеціальних нормованих параметрів та встановленні універсальних функцій перетворення, які пов'язують фізико-хімічні параметри рідинних середовищ з компонентами сигналів електромагнітних перетворювачів (амплітудними та фазовими складовими багатоконтактного сигналу перетворювача, частотою електромагнітного поля f , опором Ω та індуктивностями L обмотки теплових параметричних електромагнітних перетворювачів) [4–14]. У якості таких параметрів для ППЕП з пробою магнітної рідини, застосовують параметри G та φ для нормованих безрозмірних амплітудних та фазових компонентів сигналів, а також параметр A – узагальнений параметр із магнітною складовою, який пов'язує компоненти сигналів електромагнітного перетворювача з фізико-хімічними характеристиками зразків рідин: магнітною сприйнятливістю κ , питомою електричною провідністю χ та температурою t . Формули для визначення амплітудних та фазових складових компонентів сигналів електромагнітних перетворювачів, з урахуванням результатів робіт [4–14], мають наступний вигляд:

$$G_t = \frac{\Phi_{2t} \cdot a_n^2}{\Phi_0 \cdot a^2 \cdot (1 + \kappa)} = \frac{2}{A_t} \sqrt{\frac{ber_1^2 x + bei_1^2 x}{ber_0^2 x + bei_0^2 x}}, \quad (1)$$

$$tg\varphi = \frac{bei_1 x(ber_0 x + bei_0 x) + ber_1 x(ber_0 x - bei_0 x)}{bei_1 x(ber_0 x - bei_0 x) - ber_1 x(ber_0 x + bei_0 x)}, \quad (2)$$

$$A_t = a_n \sqrt{\mu_0 \cdot \chi_t \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}, \quad (3)$$

де G – амплітуда зондуючого зразка рідини магнітного потоку зі зразком стічних вод; Φ_0 – опорний магнітний потік; Φ_{2t} – магнітний потік у зразку рідини; $tg\varphi$ – тангенс фазового кута зсуву між опорним магнітним потоком та магнітним потоком у зразку рідини; a_n – радіус скляної трубки зі зразком, що контролюється; a – радіус зразка рідини; ber_n , bei_n , ber_0 , bei_0 , ber_1 і bei_1 – функції Кельвіна n -ого, нульового та першого порядку [5–14]; індекс t – свідчить, що досліджувана величина залежить від температури; μ_0 – магнітна стала.

При цьому, використовуючи представлення функцій Кельвіна у вигляді степеневих рядів [5–8], встановлюють універсальні функції перетворення $G = f(A)$ і $\varphi = f(A)$.

Трипараметровий метод сумісних вимірювань магнітної сприйнятливості κ , питомої електричної провідності χ та температури t зразка магнітної рідини.

Сутність методу полягає у аналізі взаємодії зовнішнього однорідного магнітного поля з магнітним полем вихрових струмів у зразку магнітної рідини. Причому магнітний потік у рідині Φ_{2t} , індуктивність L та електричний опір Ω_{2t} зразка – пов'язані з питомою електричною провідністю χ , магнітною сприйнятливістю κ , радіусом a_n пробниці зі зразком ($a_n = a$), довжиною теплового перетворювача l_n , а також з температурою t зразка [4]. Задля дослідження теоретичних основ роботи ППЕП зі зразком магнітної рідини, спочатку вводять питомі нормовані характеристики теплового ППЕП: нормовану внутрішню індуктивність $L_{ін}$, питомий електричний опір $\Omega_{ін}$ та узагальнений параметр A_t [4, 5], які містять інформацію щодо магнітної сприйнятливості κ , питомої електричної провідності χ і температури t зразка рідини.

На рис.1, з урахуванням результатів робіт [4–14], наведено схему включення індуктивного параметричного

електромагнітного перетворювача (ШЕП) зі зразком стічних вод (зразок розташовано в скляній трубці). Схема містить до себе ШЕП зі зразком стічних вод (схематично ШЕП представлено у вигляді опору R та індуктивності L), нагрівач – Н для змінення температури зразка стічних вод, амперметр в ланцюзі нагрівача – А, вольтметр – В, осцилограф – ОС (для контролю форми вихідної напруги), генератор – Г, вимірювач частоти намагнічувального струму – ВЧ, баретер – Б для стабілізації струму, самописець – С (для контролю форми струму в обмотці ШЕП), опір самописця – R_c , вимірювач фазового кута зсуву – ВФ. Схема передбачає компенсацію заважаючої зовнішньої індуктивності L_1 за допомогою компенсуючої ємності P567. За допомогою ШЕП здійснюють одночасно намагнічувальні та вимірювальні функції, а також нагрівання зразка магнітної рідини, за рахунок передбаченого у конструкції ШЕП нагрівача – Н.

Налаштування схеми на рис.1, полягає у наступному: спочатку при вимкненому нагрівачі Н, встановлюють робочу точку на залежності нормованої внутрішньої індуктивності $L_{ін}$ від узагальненого параметра A , тобто $L_{ін} = F(A)$. При цьому, якщо значення A знаходиться у діапазоні $1,42 \leq A \leq 3,3$, де чутливість ШЕП є найбільшою, залишають незмінним значення встановленої частоти f магнітного поля ШЕП. У випадку якщо A не потрапляє у заданий діапазон, встановлюють іншу частоту та здійснюють повторні вимірювання компонентів сигналів ШЕП, доки доки значення $A = A_1$, не потрапить до діапазону $1,42 \leq A \leq 3,3$. Далі за допомогою нагрівача змінюють температуру t зразка рідини в діапазоні від 15 до 30°C (з кроком $t = 2^\circ\text{C}$) та вимірюють компоненти сигналів ШЕП: падіння напруги U на зразку, фазовий кут зсуву φ_t поміж струмом I та цією ж напругою U , внутрішню індуктивність $L_{ін}$ зразка. Причому, намагніченість зразка магнітної рідини J дорівнює, $J = 12 \text{ кА/м}$, при об'ємній концентрації магнітної фази $C_0 = 2,5 \%$, напруженість магнітного поля складає $H = 300 \text{ А/м}$. Слід визначити, що стійкі магнітні колоїди є можливим отримувати, застосовуючи у якості стабілізаторів олеат натрію ($\text{NaC}_{18}\text{H}_{33}\text{O}_2$) [15-17].

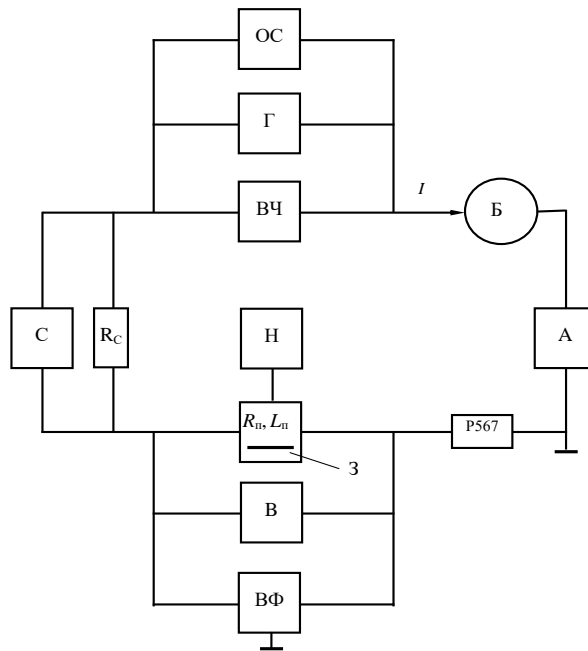


Рисунок 1 – Схема включення ШЕП зі зразком магнітної рідини

Досліджувана модель "ШЕП – магнітна рідина", виражена системою рівнянь:

$$\begin{cases} L_{ін} = f_1(a, \kappa, \chi, t) \\ \Omega_{ін} = f_2(a, \kappa, \chi, t) \\ \chi_t = \chi_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (t - t_0)] \end{cases}, \quad (4)$$

де a – радіус зразка; χ_0 – питома електрична провідність зразка магнітної рідини при початковій температурі t_0 ; α – температурний коефіцієнт опору, який знаходять експериментальним шляхом; t_0 – початкова температура зразка.

В табл.1, наведено розраховані значення універсальних функцій перетворення $L_{ін} = F(A)$ і $L_{ін} = F(\Omega_{ін}t)$, які пов'язують параметри зразка магнітної рідини з компонентами сигналів ШЕП. Алгоритм сумісних трипараметрових вимірювань фізико-хімічних параметрів зразка магнітної рідини, полягає у наступному: з

урахуванням компенсації частини сумарної індуктивності L_{Σ} , яку обумовлено проходженням паразитного магнітного потоку Φ_1 зовні зразка, вимірюють напругу U на струмопідводах скляної трубки (які розташовано з її торців) та фазовий кут зсуву φ . Далі за допомогою схеми на рис.1, вимірюють внутрішню індуктивність L_{it} та знаючи індуктивність L_0 та опір зразка Ω_0 на постійному струмі, знаходять опір зразка магнітної рідини на змінному струмі I [18].

$$\Omega_{2t} = \frac{U}{I} \cdot \cos \varphi_t. \quad (5)$$

Знаючи опір Ω_{2t} , знаходять параметр $\Omega_{н2t}$ [18].

$$\Omega_{н2t} = \frac{\Omega_{2t}}{\Omega_0}. \quad (6)$$

Далі за залежністю $L_{інт} = F(\Omega_{н2t})$ (див. табл.1), знаходять нормовану внутрішню індуктивність $L_{ін}$. Магнітну сприйнятливості зразка магнітної рідини, знаходять за формулою:

$$\kappa = \frac{L_{it} \cdot 8 \cdot \pi}{L_{ін} \cdot \mu_0 \cdot l} - 1. \quad (7)$$

Для знаходження параметра χ_t необхідно застосування іншої функції перетворення, тобто $L_{ін} = F(A_t)$, спочатку за цією залежністю необхідно знайти параметр A_t . Причому, аналітичний вираз для визначення параметра A_t , має наступний вигляд:

$$A_t = a \cdot \sqrt{\left(\frac{L_t}{L_{ін} \cdot L_0} - 1 \right) \cdot \mu_0 \cdot \chi_t \cdot \omega}, \quad (8)$$

де μ_0 – магнітна стала; ω – циклічна частота.

Питому електричну провідність зразка магнітної рідини χ_t , визначають за формулою:

$$\chi_t = \frac{A_t^2 \cdot L_{ін} \cdot L_0}{a^2 \cdot L_{it} \cdot \mu_0 \cdot \omega}. \quad (9)$$

Температуру t зразка магнітної рідини знаходять:

$$t = \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{A_t^2 \cdot L_{ін} \cdot L_0}{\mu_0 \cdot a^2 \cdot L_{it} \cdot \omega \cdot \chi_t} - 1 \right) + t_0. \quad (10)$$

Таблиця 1 – Результати вимірювань фізико-хімічних параметрів магнітної рідини κ , χ і t .
 $a = 10$ мм; $f = 25$ кГц; $\alpha = 7,41 \cdot 10^{-2}$ 1/°C; $H = 300$ А/м; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; $t = [20 \dots 30$ °C]

$L_{ін}$	$\Omega_{н2t}$	A	κ	$\chi \cdot 10^4$	t
0,989	1,021	1,423	33,9	0,286	15,09
0,977	1,046	1,747	37,05	0,351	17,19
0,958	1,084	2,031	41,52	0,406	18,11
0,929	1,144	2,360	45,66	0,475	20,98
0,891	1,222	2,681	50,33	0,538	24,02
0,848	1,312	2,98	54,98	0,579	26,96
0,804	1,406	3,26	57,11	0,602	30,01

Слід визначити, що навіть незначні змінення магнітної сприйнятливості κ , питомої електричної провідності χ та температури t зразка магнітної рідини, призводять до змінення компонентів сигналів ПЕП: магнітних потоків Φ , потокозчеплень ψ , опорів Ω та індуктивностей обмоток L і як наслідок узагальнених нормованих параметрів A та G .

Висновки

Таким чином, у даній роботі визначено шляхи розв'язання та поставлені основні завдання важливої науково-практичної проблеми, суть якої полягає у вирішенні комплексу завдань, пов'язаних зі створенням багатопараметрових електромагнітних методів сумісних вимірювань фізико-хімічних параметрів проб магнітних рідин на основі ППЕП. В рамках розгляду питань, пов'язаних з цією проблемою, досліджено трипараметровий електромагнітний метод сумісних вимірювань магнітної сприйнятливості κ , питомої електричної провідності χ та температури t зразка магнітної рідини на основі води. Отримано нові універсальні функції перетворення ППЕП зі зразком магнітної рідини, які виражають собою залежності нормованої внутрішньої індуктивності L_{in} від узагальненого параметра A_t , тобто $L_{in} = F(A_t)$, а також нормованої внутрішньої індуктивності L_{in} від нормованого опору Ω_{in2t} , тобто $L_{in} = F(\Omega_{in2t})$. На основі розробленого алгоритму наведено основні співвідношення, які описують безконтактний трипараметровий електромагнітний метод сумісних вимірювань параметрів κ , χ і t зразка магнітної рідини. Науковою новизною статті є те, що отримала подальший розвиток теорія роботи безконтактного теплового електромагнітного перетворювача ППЕП стосовно контролю фізико-хімічних параметрів зразків магнітних рідин. Практичним значенням роботи являються отримані універсальні функції перетворення, використання яких надає змогу щодо непрямого оцінювання якості магнітної рідини з метою подальшого застосування магнітної рідини в фільтрах доочищення стічних вод харчових виробництв.

Перспективи подальших досліджень, полягають в удосконаленні процесу очищення кислих та лужних стічних вод пивоварної галузі за рахунок застосування фільтру доочищення, який передбачає спеціальну зону для введення магнітної рідини на водній основі і в результаті взаємодії магнітної рідини з досліджуваним зразком, магнітна рідина перетворюється в слабомагнітну та наприкінці процесу очищення за допомогою сепаратора видаляється фракція, яка містить забруднювачі.

Список літератури

1. Фертман В.Е. Магнитные жидкости. Минск, Высшая школа, 1988. – 183 с.
2. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. (ISO 14001:2015, IDT). [Чинний від 2015-12-21]. Київ, 2016. 37 с. (Вимоги та настанови щодо застосування).
3. Себко В.В., Бабенко В.М., Пироженко Є.В. Дослідження наявності технічних миючих засобів у зразках води відібраних з відкритого водоймища. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей ХХVIII міжнародної МісroCAD-2020, Ч.IV./заред проф. Сокола Є.І.– Харків: НТУ «ХП».–С.39.
4. 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. 348с.
5. Себко В.В., Сиренко Н.Н., Гора С.А., Чан Куанг Минь, Нгуен Минь Чау Параметрический преобразователь для определения потерь мощности. Київ.- Технічна електродинаміка, 1993, №4. С.75–78.
6. Москаленко І.І. Електромагнітний параметрический преобразователь. – Український метрологічний журнал. – Харків. – 1997. – Вип. 1. – С. 7–10.
7. Сомхиева О.С. Параметрический дифференциальный двухпараметровый преобразователь // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. – 1999. – Вип. 37. – С. 31-34.
8. Себко В.В. Контроль чотирьох параметрів вихретокового параметрического датчика на основе кратных частот поля // Технічна електродинаміка. – Київ: Ін-т електродинаміки НАНУ. – 2006. – Тем. випуск, Ч. 2. – С. 67–68.
9. Маєвський С.М., Серій К.М. Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. Львів. Видавництво Фізико-механічного інститута ім. Карпенка. 2011 р. – 116 с.
10. 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) 162–167.
11. Yong Lia, Bei YanaWenjia, Lia Haoqing Jinga, Zhenmao Chena DaLib Pulse-modulation eddy current probes for imaging of external corrosion in nonmagnetic pipes NDT & E International Volume 88, June 2017, Pages 51–58.
12. Yong Lia, Bei YanaWenjia, Lia Haoqing Jinga, Zhenmao Chena DaLib Pulse-modulation eddy current probes for imaging of external corrosion in nonmagnetic pipes. Elsevier NDT & E International Volume 88, June 2017, Pages 51–58.
13. Лисенко Ю.Ю. Імпульсний вихрострумний контроль об'єктів циліндричної форми / Ю.Ю. Лисенко, Ю.В. Куц // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – Київ, 2013. – Вип. 45. – С. 69–75.
14. Тетерко А.Я. Метод формування інформаційного сигналу та підвищення точності вихрострумного контролю питомої електричної провідності матеріалу із виключенням впливу зазору / А.Я. Тетерко, Г.Г. Луценко, В.І. Гутник, О.А. Тетерко // Львів. Відбір і обробка інформації. – 2016. – Вип.43(119).–С.5-11.
15. Кісіль І.С., Боднар Р.Т., Кісіль Р.І. Контроль якості розчинів поверхнево-активних речовин для різних технологічних процесів нафтогазовидобутку. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2007. № 3(24) ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ. С. 70–72.

16. Пилипчук Е.В. Синтез и свойства нанокмпозитов на основе магнетита, модифицированного диэтиленetriазинпента-уксусной кислотой / Е.В. Пилипчук, А.Л. Петрановская, П.П. Горбик // Київ: Наноструктурне матеріалознавство. – 2012. – № 3. – С. 47.
17. Николаєнко Т. Ю. Визначення фізико-хімічних властивостей рідинних наносистем на основі вимірювання магнітної проникності / Т. Ю. Николаєнко, Є. В. Пилипчук // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія : Фізико-математичні науки. – 2015. – Вип. 2. – С. 263–266.
18. Себко В.В., Здоренко В.Г. Безконтактний метод трипараметрового вимірювального контролю фізико-хімічних характеристик зразка феромагнітної рідини. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – Київ: КНУТД, 2018. №4. – С. 77–85.

References (transliterated)

1. Fertman V.E. Mahnytnye zhydkosty. Mynsk, Vyshaia shkola, 1988. – 183 s.
2. DSTU ISO 14001:2015. Systemy ekolohichnoho upravlinnia. (ISO 14001:2015, IDT). [Chynnyi vid 2015-12-21]. Kyiv, 2016. 37 s. (Vymohy ta nastanovy shchodo zastosuvannia).
3. Sebko V.V., Babenko V.M., Pyrozhenko Ye.V. Doslidzhennia naiavnosti tekhnichnykh myiuchykh zasobiv u zrazkakh vody vidibranykh z vidkrytoho vodoimyshcha. Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: tezy dopovidei KhXVIII mizhnarodnoi MicroCAD-2020, Ch. IV. / za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». – S. 39.
4. Serediuk O.Ie., Barna O.B., Krynytskyi O.S. Elektrychni, mahnitnyi ta elektromahnitnyi vydy neruivnoho kontroliu v naftovii haluzi: navchalnyi posibnyk – Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2017. 348s.
5. Sebko V.V., Syrenko N.N., Hora S.A., Chan Kuanh Myn, Nhuen Myn Chau Parametrycheskyi preobrazovatel dlia opredelenia poter moshchnosty. Kyiv.- Tekhnichna elektrodynamika, 1993, №4. S.75–78.
6. Moskalenko Y.Y. Elektromahnytnyi parametrycheskyi preobrazovatel. – Ukrainyskyi metrolohichnyi zhurnal. – Kharkiv. – 1997. – Vyp. 1. – S. 7–10.
7. Somkhyeva O.S. Parametrycheskyi dyfferentsyalnyi dvukhparametrovyi preobrazovatel // Vestnyk Kharkovskoho hosudarstvennoho polytekhnicheskoho unyversyteta. – Kharkov: KhHPU. – 1999. – Vyp. 37. – S. 31–34.
8. Sebko V.V. Kontrol chetyrekh parametrov vykhretokovoho parametrycheskoho datchyka na osnove kratnykh chastot polia // Tekhnichna elektrodynamika. – Kyiv: In-t elektrodynamiky NANU. – 2006. – Tem. vypusk, Ch.2. – S.67–68.
9. Maievskiy S.M., Sieryi K.M. Fizychni metody ta zasoby kontroliu seredovysshch, materialiv ta vyrobiv. Lviv. Vydavnytstvo Fizyko-mekhanichnoho instytuta im. Karpenka. 2011 r. – 116 s.
10. 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) 162–167.
11. Yong Lia, Bei YanaWenjia, Lia Haoqing Jinga, Zhenmao Chena DaLib Pulse-modulation eddy current probes for imaging of external corrosion in nonmagnetic pipes NDT & E International Volume 88, June 2017, Pages 51–58.
12. Yong Lia, Bei YanaWenjia, Lia Haoqing Jinga, Zhenmao Chena DaLib Pulse-modulation eddy current probes for imaging of external corrosion in nonmagnetic pipes. Elsevier NDT & E International Volume 88, June 2017, Pages 51–58.
13. Lysenko Yu.Iu. Impulsnyi vykhrostrumovyi kontrol ob'ektiv tsylindrychnoi formy / Yu.Iu. Lysenko, Yu.V. Kuts // Visnyk NTUU «KPI». Seriiia prykladobuduvannia. – Kyiv, 2013. – Vyp. 45. – S. 69–75.
14. Teterko A.Ia. Metod formuvannia informatsiinoho syhnalu ta pidvyshchennia tochnosti vykhrostrumovoho kontroliu pytomoi elektrychnoi providnosti materialu iz vykliuchenniam vplyvu zazoru / A.Ia. Teterko, H.H. Lutsenko, V.I. Hutnyk, O.A. Teterko // Lviv. Vidbir i obrobka informatsii. – 2016. – Vyp. 43 (119). – S. 5–11.
15. Kisil I.S., Bodnar R.T., Kisil R.I. Kontrol yakosti rozchyniv poverkhnevo-aktyvnykh rehovyn dlia riznykh tekhnolohichnykh protsesiv naftohazovydobutku. Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovysshch. 2007. № 3(24) IFNTUNH, 76019, Ivano-Frankivsk. S. 70–72.
16. Pylypchuk E.V. Syntez y svoistva nanokompozitov na osnove mahnytya, modyfytsirovannoho dyztylentryazynpenta-uksusnoi kyslotoi / E.V. Pylypchuk, A.L. Petranovskaia, P.P. Horbyk // Kyiv: Nanostrukturne materialoznavstvo. – 2012. – № 3. – S. 47.
17. Nikolaienko T. Yu. Vyznachennia fizyko-khimichnykh vlastyvostei ridynnykh nanosystem na osnovi vymiriuvannia mahnitnoi pronyknoti / T. Yu. Nikolaienko, Ye. V. Pylypchuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho unyversytetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriiia : Fizyko-matematychni nauky. – 2015. – Vyp. 2. – S. 263–266.
18. Sebko V.V., Zdorenko V.H. Bezkontaktnyi metod tryparametrovoho vymiriuvannia kontroliu fizyko-khimichnykh kharakterystyk zrazka feromahnitnoi ridyny. Visnyk Kyivskoho natsionalnoho unyversytetu tekhnolohii ta dizainu. – Kyiv: KNUUD, 2018. №4. – S. 77–85.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Пироженко Євгенія Володимирівна (Пироженко Евгения Владимировна, Pyrozhenko Yevheniia Volodymyrivna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри

«Хімічна техніка та промислова екологія» м. Харків, Україна, 61000 Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6298-8670>; e-mail: andreyperik@gmail.com.

Себко Вадим Вадимович (Себко Вадим Вадимович, Sebko Vadim Vadimovich) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія» м. Харків, Україна, 61000 Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3561-6281>; e-mail: vadim.sebko@gmail.com.

Здоренко Валерій Георгійович (Здоренко Валерій Георгієвич, Zdorenko Valeriy) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», професор кафедри «Інформаційно-вимірювальних технологій» м. Київ, Україна, 03056, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6508-4290>; e-mail: alzd123@meta.ua.

Бабенко Володимир Миколайович (Бабенко Владимир Николаевич, Babenko Volodymyr Mykolaiovych) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія» м. Харків, Україна, 61000 Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1578-3445>; e-mail: vnniko19@gmail.com.

Забіяка Наталія Анатоліївна (Забіяка Наталья Анатольевна, Zabiaka Nataliia Anatolivna) – доктор філософії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія» м. Харків, Україна, 61000 Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2837-5317>; e-mail: zabijaka.nata93@gmail.com.