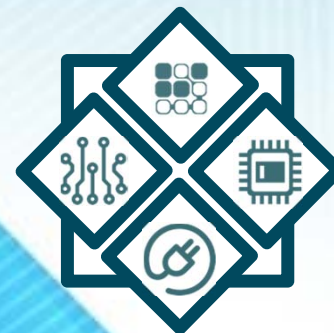


ХІ МНТК «ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2024»



ДПС - 2024

Міжнародна
науково-технічна
конференція
"Датчики, прилади
та системи"

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

XI Міжнародної науково-технічної конференції

ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2024»

присвяченої пам'яті професора Шарапова В.М.

**30 – 31 травня 2024 р.
Черкаси**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

XI Міжнародної науково-технічної конференції «ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2024»

присвяченої пам'яті професора Шарапова В.М.

Головний редактор – д.т.н., професор Бондаренко Максим Олексійович
Відповідальний за випуск – доктор філос. Топтун Анна Володимирівна

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Bożena Gajdzik – Dr hab. inż., Professor PS,
Silesian University of Technology, Poland
Cristian Barz – PhD, Associate Professor Eng.,
TU of Cluj-Napoca, North University Center
of Baia Mare, Romania
Dorota Wójcicka-Migasiuk – Dr hab. inż.,
Professor, Politechnika Lubelska, Poland
Michał Bemberek – D.Sc.Tech., Professor, AGH
USTK, Poland
Mykhaylo Pashechko – Dr hab. inż., Professor,
Politechnika Lubelska, Poland
Oleksandra Hotra – Dr hab. inż., Professor,
Politechnika Lubelska, Poland
Ryszard Machnik – D.Sc.Tech., Professor, AGH
USTK, Poland
Аксёнов В.В. – ЧНДЦЕКЦ МВС України,
Черкаси
Алпатов А.П. – д-р техн. наук, професор, член-
кор. НАНУ, ІТМ НАНУ та НКАУ, Дніпро
Антонюк В.С. – д-р техн. наук, професор,
НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», Київ
Гальченко В.Я. – д-р техн. наук, професор,
ЧДТУ, Черкаси
Гордієнко В.І. – д-р техн. наук, стар. наук.
співроб., ЧДТУ, Черкаси
Єременко В.С. – д-р техн. наук, професор,
НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», Київ
Квасніков В.П. – д-р техн. наук, професор,
НАУ, Київ
Квстний Р.Н. – д-р техн. наук, професор,
ВНТУ, Вінниця
Кошовий М.Д. – д-р техн. наук, професор,
НАКУ «ХАІ», Харків
Мусієнко М.П. – д-р техн. наук, професор, ЧНУ
ім. Б. Хмельницького, Черкаси
Ропяк Л.Я. – д-р техн. наук, професор, ІФНУ
нафти і газу, Івано-Франківськ
Рудницький В.М. – д-р техн. наук, професор,
ДНДІВCOBT, Черкаси
Ситніков В.С. – д-р техн. наук, професор,
ОНПУ, Одеса
Тимчик Г.С. – д-р техн. наук, професор, НТУУ
«КПІ ім. І. Сікорського», Київ
Халіяко В.В. – ЧНДЦЕКЦ МВС України,
Черкаси

У НОМЕРІ

- ☐ МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ
- ☐ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЄКТУВАННЯ ТА
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАТЧИКІВ, ПРИ-
ЛАДІВ І СИСТЕМ ДЛЯ РОБОТОТЕХ-
НІКИ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ
- ☐ КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ
- ☐ МІКРО- ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ У
ПРИЛАДОБУДУВАННІ
- ☐ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У
ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ
- ☐ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ
ТЕХНОЛОГІЇ
- ☐ НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ТА
СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО
МОНІТОРИНГУ
- ☐ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА
ЕНЕРГОБЕЗПЕКА
- ☐ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У
МЕДИЧНОМУ ПРИЛАДОБУДУВАННІ
- ☐ ЕКОНОМІКА, МЕНЕДЖМЕНТ ТА
МАРКЕТИНГ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ
- ☐ ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ ОСВІТНІХ
ТЕХНОЛОГІЙ ЗА ПЕЦІАЛЬНОСТЯМИ
ТЕХНІЧНОГО ПРОФІЛЮ

АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ

Україна, 18006, м. Черкаси,
бул. Т. Шевченка, 460, ЧДТУ,
кафедра ПМКТ, оргкомітет
IX Міжнарод. наук.-техн. конференції
“Датчики, прилади та системи – 2024”

ЗМІСТ

ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2024

Гожий О. О. Оперативна пам'ять, як об'єкт дослідження в комп'ютерно-технічних експертизах	3
Пташкін Р. Л. Спеціалізовані програмні засоби для дослідження мобільних пристроїв в рамках судових комп'ютерно-технічних експертиз	6
Рудаков С. В., Отрош Ю. А. Метрологічне рішення нелінійності рівнянь в складі інформаційно-вимірювальних систем	9
Довгаль А. В. Високовольтний вимірювальний підсилювач	13
Рашкевич Н. В., Отрош Ю. А. Вдосконалення системи протипожежного захисту трансформаторних підстанцій	16
Матюшин О. В., Вислоух С. П. Метод підвищення ефективності процесу оброблення отворів в деталях з композиційних матеріалів	19
Лаппо І. М., Чередніков О. М., Ляшенко В. А. Сучасні вимоги до металодетекторів для гуманітарного розмінування	23
Потапов О. І., Дробот О. А., Тertiшнік Є. М. Методика побудови кваліметричної моделі високотехнологічної інформаційно-вимірювальної системи до підготовки та проведення випробувань	27
Кожевніков В. В., Аксьонов В. В. Використання штучного інтелекту в галузі криміналістики та судової експертизи	30
Кошовий М. Д., Костенко О. М., Ковшар Н. Є. Волоконно-оптичний датчик температури	33
Гуральник Ф. Б. Використання штучного інтелекту для автоматизації тестування REST API	36
Кузьміч О. Є., Аркушенко П. Л., Андрушко М. В., Тertiшнік Є. М. Аналіз характеристик і можливостей застосування вимірювальних систем та датчиків для випробування захисного спорядження сапера	38
Тарасенко Я. В., Приходько С. М. Шляхи підвищення ефективності вимірювань при вібраційних випробуваннях	40
Ситніков Т. В., Біленко А. О., Бадерко І., Ситніков В. С. Дослідження фазочастотних характеристик при застосуванні однотипних смугових фільтрів для підвищення порядку обробки сигналів	42
Купріянов О. М., Ситніков В. С. Аналіз методів обробки даних у розподілених програмованих системах на базі мікросервісної архітектури	45
Орлов С. В., Геращенко М. О. Аналіз методів лабораторних вібраційних випробувань радіоелектронної апаратури	49
Гордієнко В. І., Васильченко В. Ю., Коваленко О. О. Підвищення точності вимірювання кутових координат в широкому діапазоні кутів оптико електронним датчиком	52
Наймитенко С. І., Подорожняк А. О. Стан та перспективи розвитку сервісу для розумного протезу	53

Сторчак А. В., Гальченко В. Я. Система вихрострумового вимірювання приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів	56
Лукаsevич В. С., Канашевiч Г. В., Мацева С. М. Оптичне волокно-багатофункціональний елемент сучасного медичного обладнання	60
Тичков В. В., Трембовецька Р. В., Тичкова Н. Б., Гальченко В. Я. Непрямі вимірювання фізичних властивостей пласких провідних виробів вихрострумовим методом	64
Андрієнко О. М., Колеснікова К. В. Enterprise resource planning (erp)-системи в Україні, поточний стан та перспективи розвитку	71
Засядько А. А., Литовченко В. В., Підгорний М. В. N-гранна схема оцінки відмов інформаційної системи "людина-транспортний засіб-середовище"	73
Діордіца І. М., Іваненко Р. О. Координатне розташування датчика у різальному інструменті	77
Demenskyi O. M., Yerochin S. Yu., Krasnov V. A., Shutov S. V. Improvement of the method of double-drift gap structures formation for ThZ radiation sources	79
Kartal K., Lobunko O. Gas turbine technical condition control system heat engine	81
Pylypenko T., Tuz V., Shadhin V. Optimization of laser processing by means of network information technologies	85
Філімонов С. О., Філімонова Н. В., Бачеріков Д. С. Базіло К. В. Підвищення тягових характеристик лінійного п'єзокерамічного двигуна на основі біморфних п'єзоелементів для використання в системах автоматизації	88
Усенко Є. А., Туз В. В., Dzierwa A. Адаптивне керування процесом мультифіламентного 3D друку	91
Вязовик В. М. Ініціювання первинних стадій горіння газоподібного палива електроннокаталітичним методом	94
Вознюк Є. В., Туз В. В. Використання home assistant для створення єдиної екосистеми	97
Ярославський А. В. Основні принципи регулювання напруги при комп'ютерному моделюванні силових трансформаторів та автотрансформаторів	100

СИСТЕМА ВИХРОСТРУМОВОГО ВИМІРЮВАННЯ ПРИПОВЕРХ- НЕВИХ РАДІАЛЬНИХ ПРОФІЛІВ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ХАРАК- ТЕРИСТИК ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

вихрострумове вимірювання, циліндричний об'єкт контролю, радіальні профілі магнітної проникності і електричної провідності, сурогатна модель, однорідний комп'ютерний план експерименту, експрес метод, динамічна таблиця другого рівня

eddy current measurement, cylindrical object of inspection, radial profiles of magnetic permeability and electrical conductivity, surrogate model, homogeneous computer experiment design, express method, second level dynamic table.

АВТОРИ

Сторчак Анатолій Вячеславович, здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

Гальченко Володимир Якович, д-р техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

АНОТАЦІЯ

У тексті описано метод розв'язку задачі неруйнівного контролю, а саме вимірювання приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик матеріалу циліндричних об'єктів. Окреслено загальні концепції, етапи та особливості процесу створення системи такого вимірювання. Приведено складові реалізації системи вихрострумове вимірювання на основі реалізованої сурогатної моделі процесу вихрострумове контролю трансформаторним перетворювачем і експрес методу вимірювання в реальному масштабі часу з застосуванням дворівневих Lookup tables.

ABSTRACT

The text reports a method for solving the problem of non-destructive testing of near-surface radial profiles of electrophysical material characteristics of cylindrical objects. The general concepts, stages and features of the process of creating a system for such measurement have been described. The components of the implementation of the eddy current measurement system based on the implemented surrogate model of the process of eddy current control by a transformer converter and the express method of real-time measurement using two-level lookup tables were presented.

Суть вимірювання приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик полягає в наступному. Після термічної чи термохімічної обробки деталей: азотуванням, гартуванням, цементацією, покриття нітридом титану тощо, змінюються фізико-механічні властивості матеріалу поверхневого матеріалу виробів. Завдяки кореляційним зв'язкам електричної провідності (ЕП) та магнітної проникності (МП) з фізико-механічними властивостями матеріалу, в свою чергу, за допомогою вихрострумове контролю можна отримати інформацію про такі властивості приповерхневого шару матеріалу як в'язкість, пластичність, твердість, теплоємність,

міцність, а крім того, хімічний і фазовий склад.

Вважатимемо, що електрофізичні параметри ОК змінюються вздовж радіуса неперервно відповідно до певних законів розподілу, рис. 1.

В процесі контролю, бажано отримувати результат при одній частоті струму збудження та в реальному масштабі часу за одну вимірювальну операцію. Негативними факторами такого процесу вимірювання є нестабільність частоти струму збудження і вірогідна непостійність радіуса об'єкта контролю (ОК) (зазору між датчиком і поверхнею ОК), можливі зміни яких треба враховувати при проведенні вимірювань.

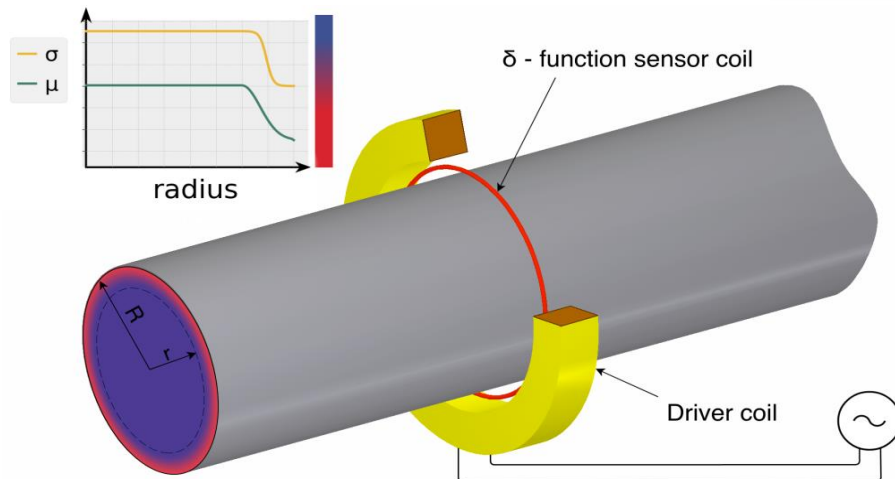


Рис. 1. Вихрострумний метод вимірювання параметрів матеріалу приповерхневого шару циліндричних ОК: R-r – приповерхневий шар з змінними електрофізичними параметрами матеріалу; Driver coil – обмотка збудження; δ -function sensor coil – вимірювальна обмотка у вигляді нескінченно тонкого витка.

З математичної точки зору, визначення параметрів за отриманим сигналом вихрострумного перетворювача (ВСП) є некоректно поставленою задачею. Розв'язок цієї задачі був поділений на кілька основних етапів:

- реалізація “точної” моделі процесу вихрострумного контролю на основі аналітичних обчислень;
- створення однорідних комп'ютерних планів експерименту для подальшого навчання сурогатної моделі та наповнення таблиць пошуку (LUT);
- створення сурогатної моделі на базі згенерованих даних відповідно до “точної” моделі;
- реалізація пошуку профілів значень характеристик приповерхневого матеріалу ОК за допомогою LUT та алгоритму динамічного формування уточненої таблиці другого рівня для досягнення більшої точності.

Відповідно до “точної” електродинамічної моделі [1] для обчислення векторного потенціалу і напруги ВСП в процесі дослідження написано програмне забезпечення, яке реалізовано за допомогою мови програмування Python 3 та з використанням бібліотек NumPy і SciPy. Для оптимізації калькуляцій деякі функції і підінтегральні вирази з функціями Бесселя були замінені апроксимаціями. Інтегрування проводилося методом усічення з адаптивною межею та розбиттям діапазону інтегрування на частини.

Верифікацію комплексу програм було проведено за допомогою аналітичних

моделей для більш простих випадків, тобто двошарових ОК [2, 3], які дозволяють отримати значення векторного потенціалу в області розміщення вимірювального витка, а також за допомогою програмного продукту мультифізичного моделювання COMSOL Multiphysics (AC/DC Module), що використовує для аналогічних розрахунків FEM.

Враховуючи багатопараметровість задачі ідентифікації профілів та з метою скорочення обсягу вимірювальних операцій, накопичення апріорної інформації щодо ОК має сенс виконувати в сурогатній моделі процесу контролю при варіюванні суттєвими технічними параметрами, зокрема ЕП, магнітною проникністю МП приповерхневого шару, діаметром ОК, частотою збудження вихрових струмів [4].

Універсальним засобом для створення сурогатних моделей є глибокі штучні нейронні мережі (DNN). Завдяки своїм узагальнюючим властивостям та здатності бути носієм апріорної інформації про процес контролю, DNN є засобами апроксимації з прийнятною точністю, що значно заощаджують час в отриманні результату і підвищують якість подальших експериментів в дослідженнях.

Сурогатні моделі у вигляді DNN відносяться до data driven методів, а це означає, що якість вибірки напряму впливає на якість відтворення результатів моделювання в подальшому. Створення комп'ютерного однорідного плану експерименту можливе за допомогою, наприклад, сукупності визначених в просторі

точок, отриманих з використанням квазі-випадкових послідовностей, зокрема R послідовностями [5].

В контексті вимірювальної задачі, для формування коректного плану експерименту спочатку варто визначитися з конкретними параметрами, які будуть змінюватися при розрахунках за цими планами. Так як вважається, що приповерхневий матеріал ОК має неперервну зміну електрофізичних параметрів уздовж його радіусу саме в зоні приповерхневого шару, запропоновано наступний концепт побудови вибірки: електрофізичні характеристики глибинного матеріалу ОК вважалися сталими і задавалися як характеристики 1-го умовного шару, а приповерхневий матеріал був представлений сукупністю інших апроксимаційних шарів. Зміна характеристик матеріалу цих шарів відбувалася відповідно до певної апроксимізаційної функції [6]. Опорними змінними розподілення, що визначаються за набором значень R послідовностей, є тільки граничні значення характеристик матеріалу, а всі проміжні значення визначаються за функціями розподілення.

Для розв'язку оберненої задачі вимірювання профілів електрофізичних параметрів ОК в рамках цих досліджень, пропонується застосування дворівневого

пошуку по апіорі підготовленим LUT [7]. На першому етапі пошуку застосовується нарахована заздалегідь таблиця “грубих значень” сигналу напруги ВСП з досить великою дискретизацією і відповідних цьому сигналу параметрів ОК (профілів провідності та магнітної проникності).

На другому етапі, за знайденими “грубими значеннями” параметрів ОК динамічно формується новий набір проміжних значень параметрів в діапазоні їх найближчих табличних значень. Новий набір створюється за допомогою динамічно створеного комп'ютерного плану експерименту на R послідовностях, і на основі цієї вибірки нараховується і зберігається таблиця другого рівня. Обчислення значень вихідного сигналу ВСП в таблиці здійснюється з використанням сурогатної моделі, що значно скорочує час обчислення.

Виконання цих етапів дозволяє стверджувати про створення програмного забезпечення системи для розв'язку оберненої вимірювальної задачі вихрострумової структуроскопії щодо одночасного визначення профілів електрофізичних параметрів об'єктів контролю в реальному масштабі часу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nestor, C. W. Jr., Dodd, C. V. & Deeds, W. E. (1979). Analysis and computer programs for eddy current coils concentric with multiple cylindrical conductors (ORNL Report No. ORNL-5220). Oak Ridge National Laboratory.
2. Dodd, C. V. & Deeds, W. E. (1967). Analytical solutions to eddy-current probe coil problems (Report No. 10.2172/4499902). United States. <https://doi.org/10.2172/4499902>
3. Dodd, C. V., Luquire, J. W., Deeds, W. E. & Spoeri, W. G. (1969). Some eddy-current problems and their integral solutions (Report No. 10.2172/4783007). United States. <https://doi.org/10.2172/4783007>
4. Halchenko, V. Ya., Storchak, A. V., Trembovetska, R. V. & Tychkov, V. V. (2020). *Створення сурогатної моделі для відновлення приповерхневих профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів*. Український метрологічний журнал, 3, 27-35. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.3.2020.216824>
5. Roberts, M. *The unreasonable effectiveness of quasirandom sequences*. (2018, May 16). <http://extremelearning.com.au/unreasonable-effectiveness-of-quasirandom-sequences/>
6. Halchenko, V. Ya., Tychkov, V. V., Storchak, A. V. & Trembovetska, R. V. (2020). *Відновлення приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів при вихрострумових вимірюваннях із наявністю апіорних даних. Формування вибірки для побудови сурогатної моделі*. Український метрологічний

журнал, 1, 35-50. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.1.2020.204226>

7. Гальченко, В., Сторчак, А., Тичков, В. & Трембовецька, Р. (2022). *Вимірювання приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів вихрострумовим методом із застосуванням апріорних даних*. Український метрологічний журнал, 1, 5-11. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.1.2022.258678>

Сторчак, А. В., Гальченко, В. Я., (30-31 травня 2024). *Система вихрострумового вимірювання приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Storchak, A. V., Halchenko, V. Ya. (2024, May 30-31). *Eddy current measurement system for surface radial profiles of electrophysical characteristics of cylindrical objects* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].