

УДК 620.179.14; 621.317.42

НІЧОГА В.О., д.т.н., професор (Національний університет "Львівська політехніка"),
ДУБ П.Б., головний інженер (Фізико-механічний інститут НАН України),
СТОРОЖ І.В., аспірант (Національний університет "Львівська політехніка")

Компонентні давачі для магнітної діагностики технічного стану рейок залізничної колії

Для побудови компонентних і багатоканальних систем для магнітної дефектоскопії з використанням вагонів - дефектоскопів необхідні багатоконтактні давачі для реєстрації збурень магнітного поля дефектів рейок. В результаті проведених теоретичних і експериментальних досліджень запропоновані нові дво- і трикомпонентні давачі, в тому числі точкові рамочні і локальні феромагнітні, які при обмежених масі і габаритах забезпечують вищу чутливість, ніж існуючі штатні давачі.

Для перевірки чутливості рейкових давачів запропонована методика їх калібровки, яка до даного часу взагалі була відсутня.

Запропоновані, досліджені і апробовані на спеціально створеному діагностичному стенді точкові давачі на основі ефекту Холла, на базі яких будуть створені матричні багатоканальні і компонентні рейкові сенсори.

Ключові слова: вагон-дефектоскоп, дефекти рейок, індукційний давач, компоненти поля, інтегральний давач.

Вступ

Магнітні методи діагностики залізничних рейок в режимі on-line в основному здійснюються в даний час за допомогою вагонів – дефектоскопів, які реалізують магнітодинамічний метод (МДМ) дефектоскопії [1]. Спочатку для здійснення такої швидкісної діагностики цим методом використовувалися виключно магнітні вагони-дефектоскопи (МВД), а, останнім часом, суміщені вагони-дефектоскопи (СВД), в яких МДМ дефектоскопії поєднаний з ультразвуковим [2].

Класичний МВД, який в різних модифікаціях на залізних дорогах СНД експлуатується ще з 50-х років минулого століття [2], забезпечує контроль рейок при швидкостях до 70 км/год і виявляє поперечні тріщини (дефекти 20 і 21 по [3]) з площею пошкодження головки рейки від 25% і глибиною залягання до 5 мм. Одночасно МВД впевнено виявляє поперечні і поздовжні тріщини (дефекти 24, 25, 27,30 В і 30 Г по [3]), а також полумки рейок. Таким чином МВД забезпечує надійний контроль при поверхневих і підповерхневих дефектів, безконтактність, можливість роботи при різних погодних і температурних умовах, а також фіксацію прив'язки дефекту до ділянки контрольованої колії [4, 5]. Як відзначено в [2], в зимових умовах МДМ для мобільних засобів дефектоскопії можливо є єдиним, який своєчасно може виявити дефекти критичних розмірів.

Значимо, що у всіх існуючих МВД реалізована одноканальна система реєстрації сигналів дефектів, які надходять від однокомпонентного індукційного давача інтегрального типу розташованого на кожній пошуковій лижі вагона-дефектоскопа. При цьому давачі, які розташовані над кожною рейкою, реєструють тільки поздовжню H_y складову результуючого поля дефекту. Наші попередні дослідження показують, що додаткову інформацію про дефектний стан рейок можна одержати шляхом одночасної реєстрації і вертикальної магнітної компоненти поля рейки H_z , яка, крім цього, в реальних умовах експлуатації вагона-дефектоскопа забезпечує краще співвідношення сигнал/завада [6].

Постановка задачі

Значно більший обсяг дефектоскопічної інформації з кожної рейки можна отримати при переході на 3-компонентні давачі з подальшим застосуванням первинних перетворювачів матричного типу і практичною реалізацією компонентної і багатоканальної приймальної дефектоскопічної системи [5,7]. Для реалізації таких систем потрібні високоефективні давачі для реєстрації всіх компонент магнітного поля збурення дефекту. Враховуючи сказане, актуальним є дослідження спрямовані на створення спеціальних компонентних дефектоскопічних давачів пристосованих для роботи в магнітних каналах вагонів-дефектоскопів.

Компонентні рамочні давачі інтегрального типу

В існуючих МВД застосовуються в якості первинних перетворювачів сигналів дефектів рамочні давачі індукційного типу, які оператори вагонів-дефектоскопів називають "пошуковим котушками". Ці давачі (4) закріплюються на спеціальних пошукових лижах (3), які в процесі руху вагона ковзають по головці рейки (1). Лижі виготовляють з нержавіючої немагнітної сталі і вони притискаються до поверхні рейки з допомогою пружинного шарніру (2) (див. рис. 1). Давачі розташовані на кожній рейці і реєструють поздовжню складову H_y збуреного дефектом в рейці постійного магнітного поля.

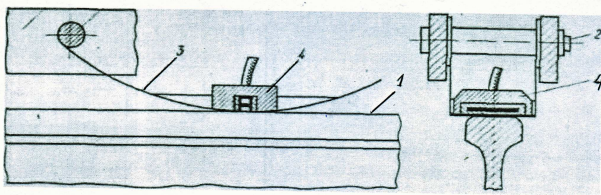


Рис. 1. Пошукова лижа (3) з давачем (4) на рейці (1)

Магнітне поле в рейках створюється двома потужними електромагнітами, які розташовані над правою і лівою рейками залізничної колії і закріплені на спеціальному індукторному візочку. Кожний електромагніт живиться постійним струмом величиною біля 20 А і створює в рейці магнітний потік порядку 8-10 мВб. Робочий зазор між полюсом електромагніта і головкою рейки складає 8-10 мм.

Штатний заводський давач (ЗД) львівського МВД №442 розташований на каркасі з ізоляційного матеріалу і має однакову конструкцію і електричні параметри для обоїх рейок. Геометричні розміри каркасу давачів показані на рис. 2, а ширина давача орієнтовно дорівнює ширині головки рейки

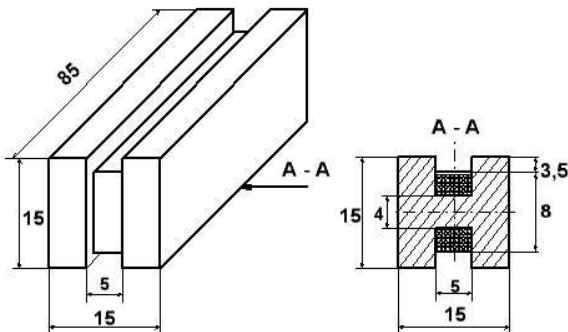


Рис. 2. Конструкція інтегральних рамочних давачів МВД №442

Давач типу ЗД, який постійно експлуатувався на вагоні-дефектоскопі №442, мав недостатню чутливість і з цієї причини в процесі досліджень був створений новий модернізований давач (МД) інтегрального типу, який має майже удвічі більшу чутливість у порівнянні з давачем типу ЗД. Обидва типи давачів мають однакову конструкцію і розміри.

Основні електричні параметри давачів типу ЗД і МД представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльні параметри давачів типу ЗД і МД, які визначають їх чутливість по магнітному полю

Параметри давача	Модернізований давач (МД)	Заводський давач (ЗД)
Фізична площа S_{ϕ} , м ²	$4,55 \cdot 10^{-4}$	$4,55 \cdot 10^{-4}$
Еквівалентна площа $S_{д}$, м ²	0,115	0,063
Магнітний момент M , Гн·м	$14,4 \cdot 10^{-8}$	$7,9 \cdot 10^{-8}$
Власна резонансна частота f_0 , кГц	186	330
Чутливість по полю G , В/(А/м) на $f = 1$ кГц	$9 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$

В таблиці 1 прийняті наступні позначення:

- фізична площа індукційного давача (ІД) $S_{\phi} = a \cdot b$ [м²], де a і b – геометричні розміри поперечного перерізу котушки ІД;

- еквівалентна площа ІД $S_{д} = S_{\phi} \cdot w = a \cdot b \cdot w$ [м²], де w – кількість витків котушки давача;

- магнітний момент ІД $M = \mu_0 \mu_T S_{д} = \mu_0 \mu_T S_{\phi} w$ [Гн·м], де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м, μ_T – відносна магнітна проникливість осердя ІД (для рамочних ІД, якими є давачі ЗД і МД, $\mu_T = 1$);

- чутливість ІД по магнітному полю $G = \omega M$ [В/(А/м)] (на частотах $f < f_0$, де f_0 – власна резонансна частота ІД) [8].

Необхідно відзначити, що чутливість всіх давачів для МВД визначалась в однорідному магнітному полі кілець Гельмгольца в частотному діапазоні 100Гц – 2000Гц [9], так як спеціальної установки і методики для калібровки давачів для МВД не існує. При цьому слід зазначити, що запропоновані і приведені електричні параметри давачів для діагностики залізничної колії з допомогою МВД в відомій нам літературі взагалі не зустрічаються. Оператори МВД визначають достатність чутливості давачів по наявності на дефектограмі чітких сигналів від шпальних підкладок та рейкових зварок.

Запропоновані і введені параметри дозволяють зробити порівняння тільки між собою чутливості різних типів давачів, так як в реальній ситуації

чутливість магнітного діагностичного каналу буде суттєво залежати від віддалі давача до поверхні рейки.

Проведені дослідження показали, що додаткова інформація про дефекти рейок може бути отримана при реєстрації вертикальної компоненти (H_z) магнітного поля, яка, крім цього, може мати краще співвідношення сигнал/завада [6]. В цьому випадку доцільним є перехід на компонентну реєстрацію дефектоскопічного сигналу, тобто реєстрацію магнітних компонент H_y і H_z поля збурення дефектів.

Для реєстрації горизонтальної і вертикальної компонент поля дефекту був спроектований двокомпонентний інтегральний давач, електричні параметри кожної компоненти якого були ідентичні параметрам давача типу МД. Цей давач отримав назву ІДЗ-К2. На рис. 3 а, б показаний зовнішній вигляд давачів типу МД (однокомпонентний) і ІДЗ-К2 (двокомпонентний).

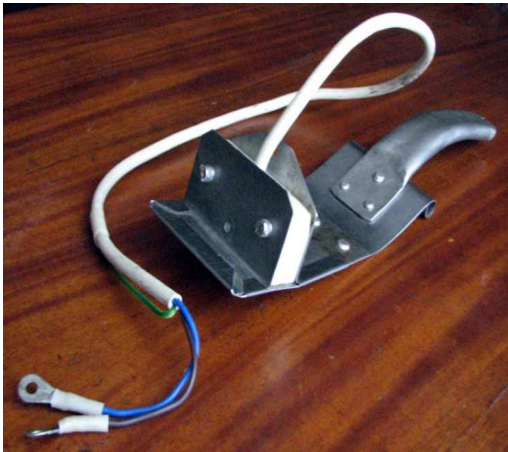


Рис. 3а. Давач МД

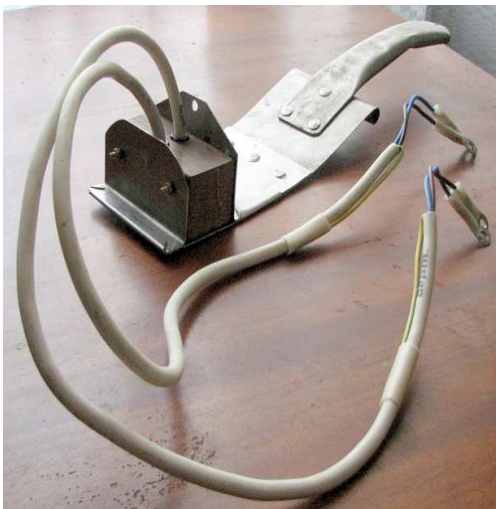


Рис. 3б. Давач ІДЗ-К2

Натурні випробування давачів ЗД, однокомпонентного давача типу МД і двокомпонентного давача типу ІДЗ-К2 проводилися на магнітному вагоні-дефектоскопі №442 Служби колії Львівської залізниці на ділянці колії Львів-Красне протяжністю 50 км.

Двокомпонентний давач ІДЗ-К2 був розміщений на правій пошуковій лижі. Сигнали від компоненти H_y і H_z надходили на два канали штатної апаратури. По результатам випробувань були зроблені наступні висновки:

1. Розроблені давачі типу ІДЗ-К2 і МД зареєстрували на досліджуваній ділянці колії усі наявні дефектоскопічні сигнали, а саме: сигнали від болтових стиків, зварних стиків, поверхневих дефектів, шпальних підкладок та сигналів від "упорок".

2. Зареєстровані давачами ІДЗ-К2 і МД за компонентою H_y дефектоскопічні сигнали збігаються з сигналами, які реєструються штатним давачем вагона-дефектоскопа типу ЗД.

3. Зареєстровані давачем ІДЗ-К2 за компонентою H_z дефектоскопічні сигнали відповідають за координатою наявним дефектоскопічним сигналам. Водночас образи відомих сигналів, наприклад, типу „упорка”, зварювання, стик, дещо відрізняються за формою від традиційних, які фіксуються вагоном-дефектоскопом у штатному режимі.

4. На більшості ділянок шляху сигнал вертикальної компоненти давача ІДЗ-К2 не містив високочастотної «шумової» доріжки, що свідчить про його кращий заводозахист. Раніше кращу заводостійкість при реєстрації вертикальної компоненти сигналу H_z було показано теоретично [6].

5. Зазначені висновки підтверджені відповідним актом випробувань, підписаним представниками дорожньої лабораторії дефектоскопії і затверджені начальником служби колії львівської залізниці

Компонентні малогабаритні локальні індукційні феромагнітні давачі (ФІД) і точкові рамочні давачі (ТРД)

Додаткова інформація про дефектний стан головки рейки може бути отримана при переході на багатоканальні вимірювання з застосуванням локальних і точкових давачів розміщених певним чином по поверхні головки рейки. Застосування таких давачів згадується в роботах [5, 7, 10-12].

Таким чином, для вирішення задач багатоконечної і багатоканальної дефектоскопії необхідні локальні (точкові) давачі, геометричні розміри яких будуть співмірними з розмірами дефектів, які підлягають виявленню.

Наявність таких точкових давачів дасть змогу створити матричні давачі і таким чином перейти на багатоконечної і багатоканальну магнітну дефектоскопію.

Для швидкісної діагностики залізничних рейок МДМ в МВД були створені базові взірці локальних феромагнітних індукційних давачів типу ФІД і точкових рамочних давачів типу ТРД.

Дачачі типу ФІД

Дачач ФІД використовує феритове осердя з матеріалу НІС2000; розміри осердя 3x7x34 мм (рис. 4).

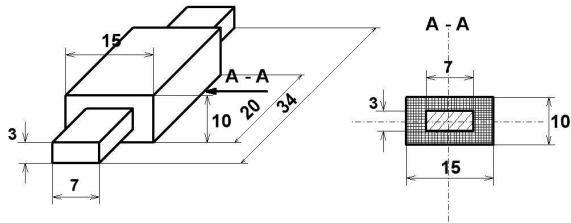


Рис. 4. Конструкція феромагнітного індукційного дачача типу ФІД

Дачачі типу ФІД були розроблені в 4-х варіантах [7]:

ФІД -1 - це однообмоточний варіант, котушка якого розміщена в центрі осердя і складає $W=560$ вит.;

ФІД -2 - це однообмоточний варіант, котушка якого розміщена на торці осердя і складає $W=560$ вит.;

Дачач ФІД -3 має 2 котушки: сигнальну з $W=460$ вит. і зворотного зв'язку з $W=100$ вит., які розташовані в центрі феритового осердя;

Дачач ФІД-4 має також 2 котушки: сигнальну з $W=460$ вит. і зворотного зв'язку з $W=100$ вит., які розташовані на торці феритового осердя.

Варіанти дачачів ФІД -2 і ФІД-4 з торцевим розташуванням котушок призначені для реєстрації вертикальної складової магнітного поля збурення дефекту.

Дачачі типу ФІД-2 і ФІД-1 безпосередньо з'єднуються з попереднім підсилювачем сигналу і реалізують лінійну АЧХ.

Сигнальна котушка дачачів типу ФІД-3 і ФІД-4 з'єднуються з попереднім підсилювачем сигналу, а друга котушка дачача вмикаються в коло зворотного зв'язку попереднього підсилювача і забезпечує тим самим реалізацію частотонезалежної (плоскої) АЧХ.

Основний варіант дачача – ФІД-1 був випробуваний на лабораторному стенді з відрізком залізничної рейки [13] і на його основі був створений макет лабораторного дефектоскопа з трикомпонентним дачачем для реєстрації H_x , H_y , H_z компонент поля збурення рейки (рис. 5).

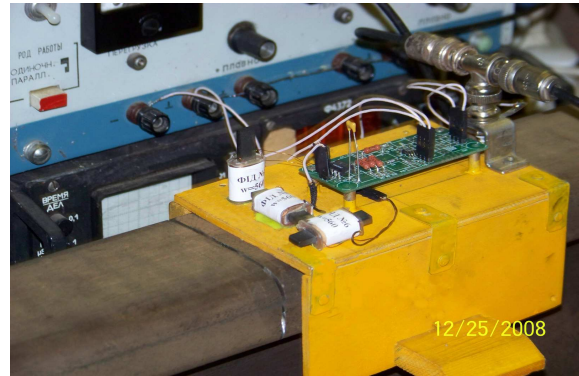


Рис. 5. Пересувна платформа з трьома взаємоортогональними дачачами типу ФІД і вхідними підсилювачами

Дачачі типу ТРД

Точковий рамочний дачач (ТРД) являє собою багатовиткову рамку, яка розміщена на круглому котушковому каркасі (рис. 6). Розміри каркаса дачача: довжина $l=7$ мм, діаметр $d=6$ мм. Котушка дачача складається з $W=1100$ витків, які рівномірно розташовані на каркасі. Електричні параметри дачачів типу ФІД-1 і ТРД представлені в таблиці 2.

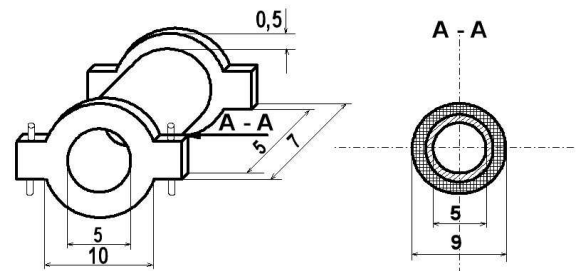


Рис. 6. Конструкція точкового рамочного дачача типу ТРД

Таблиця 2

Порівняльні параметри дачачів типу ФІД-1 і ТРД, які визначають їх чутливість по магнітному полю

Тип дачача	Фізична площа S_{ϕ} , м ²	Еквівалентна площа $S_{д}$, м ²	Магнітний момент M , Гн·м	Власна резонансна частота f , кГц	Еквівалентна магнітна проникність осердя μ_r	Чутливість по полю на $f = 1$ кГц G , В/(А·м)
ФІД-1	$3 \cdot 10^{-4}$	3,2	$3,7 \cdot 10^{-6}$	100	17,8	0,023
ТРД	$0,5 \cdot 10^{-4}$	0,055	$0,17 \cdot 10^{-6}$	150	1	0,011

Зовнішній вигляд давачів типу ТРД і ФІД показані на рис. 7.

На основі 3-х точкових рамочних давачів типу ТРД був створений трикомпонентний давая для дослідження в лабораторних умовах сигналів дефектів залізничної рейки (рис. 8).

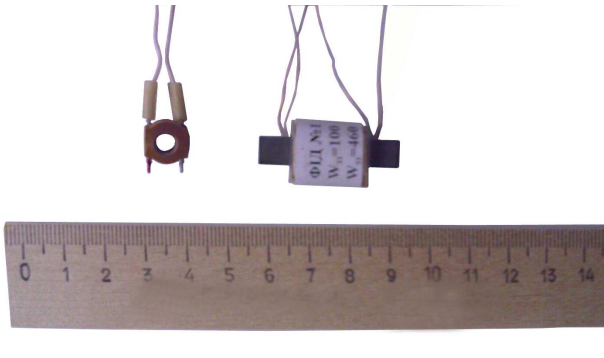


Рис. 7. Давачі ТРД і ФІД

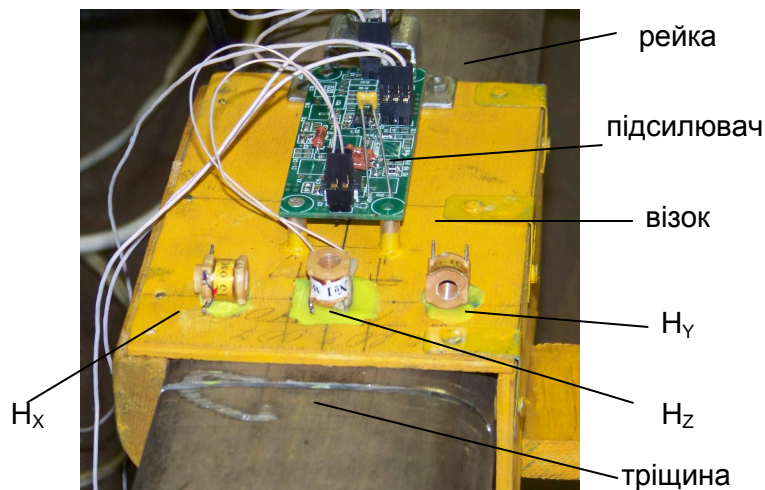


Рис. 8. Лабораторний діагностичний візок на рейці з трьома взємоортогональними точковими давачами типу ТРД

Лабораторний стенд для дослідження давачів типу ФІД і ТРД

Для проведення лабораторних досліджень розроблених давачів був створений лабораторний стенд. Для стенду був використаний відрізок рейки типу Р-65 довжиною 2,5 м з реальним дефектом типу поперечної тріщини по коду 21.2. Штучний дефект типу поперечної тріщини має: ширину $a = 75$ мм, розкрив $b = 2$ мм, глибину $d = 7$ мм

Електротехнічні параметри матеріалу рейки: сталь М76, $H_c = 2,5$ А/м, $B_r = 1,04$ Тл, $B_s = 1,82$ Тл, $\mu_{\max} = 3700$, $\sigma = 3,75 \cdot 10^6$ См/м. Загальний вигляд стенду показаний на рис. 9.

В зведеній таблиці 3 приведені конструктивні і електричні параметри компонентних давачів типу ТРД і ФІД-1. Для порівняння приведені аналогічні параметри інтегрального давача типу МД [14].



Рис. 9. Лабораторний стенд

Порівняльні параметри давачів типу МД, ТРД іФІД-1

Параметр	S_{ϕ} , м ²	$S_{дз}$, м ²	M , Гн·м	G_1 кГц, В·м/А	f_0 , кГц	w	$d_{пр}$, мм	L_0 , мГн	r_0 , Ом
Давач типу МД	$4,55 \cdot 10^{-4}$	0,115	$0,14 \cdot 10^{-6}$	0,0009	186	250	0,13	2,52	41
Точковий давач типу ТРД	$0,5 \cdot 10^{-4}$	0,055	$0,17 \cdot 10^{-6}$	0,011	150	1100	0,063	16	160
Локальний давач типу ФІД-1	$3 \cdot 10^{-4}$	3,2	$3,7 \cdot 10^{-6}$	0,023	100	560	0,25	14	8,5

Давачі на ефекті Холла

Мінімізувати відстань між давачами і покращити частотну характеристику можна замінивши індукційні давачі на давачі, що базуються на ефекті Холла. Ефективним рішенням є використання давачів SS49E компанії Honeywell [15]. Ці давачі мають три виводи: плюс і мінус живлення та вихід сигналу пропорційного магнітному полю, котре діє на давач. При відсутності зовнішнього магнітного поля на виході встановлюється половина напруги живлення. При появі зовнішнього магнітного поля вихідна напруга збільшується або зменшується у залежності від напрямку вектора поля.

Діапазон напруги живлення для SS49E від 3 до 6,5В. При живленні 5В він споживає всього 6мА. Номінальна чутливість – 1,4 мВ/Гаус при смузі пропускання від постійної складової до 50 кГц. Динамічний діапазон – ± 1000 Гаусів [15].

Основною перевагою давачів Холла є частотнезалежна АЧХ у робочому діапазоні частот, що виключає можливий вплив швидкості їх переміщення на форму сигналу.

Для перевірки ефективності застосування давачів Холла для дефектоскопічних завдань створено спеціальний макет. Давачі встановлені на спільній платі і розміщені на одній осі вздовж зразка. При цьому їх взаємна орієнтація забезпечує вимірювання трьох ортогональних складових магнітного поля (рис. 10). Вимушене просторове зміщення між давачами компенсується програмно.

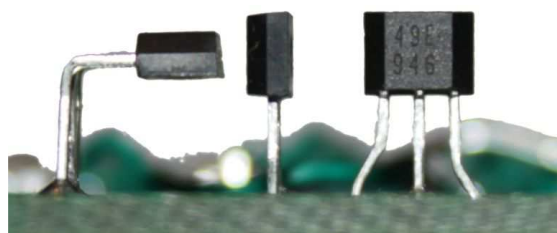


Рис.10. Давачі Холла розміщені на платі для фіксації ортогональних компонент магнітного поля

Намагнічуюча система макету складається з двох постійних магнітів з напруженістю поля 2700 Ерстед, які закріплені на магнітопроводі довжиною 90см з можливістю зміни відстані між полюсами, що дозволяє досліджувати зразки різної довжини. Зразок з дефектом встановлюється між полюсами магнітів, що забезпечує його рівномірне намагнічування (рис. 11).



Рис. 11. Зразок з дефектами, закріплений між полюсами магнітів макету

З метою підвищення інформативності дефектоскопічних даних в макеті передбачено сканування давачів над усією поверхнею зразка. Це дозволило отримати розподіл магнітного поля над дефектом не тільки вздовж однієї координати, але й у площині, що дало можливість визначити особливості формування сигналу в багатокомпонентних та багатоканальних давачах. Переміщення давачів забезпечується спеціальною установкою, виконаною на базі механізму від принтера (рис. 12), який приводиться в рух мотором постійного струму.

На рис. 13 показано запис одного рядка масиву трьохмірних векторів.



Рис. 12. Механізм для переміщення датчиків над зразком

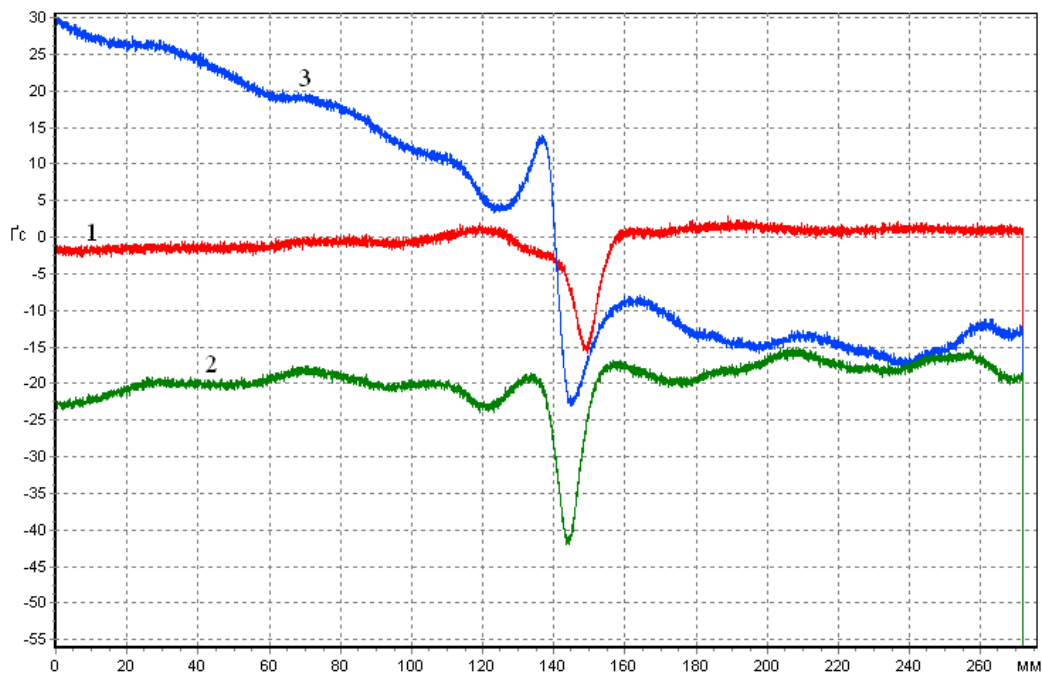


Рис. 13. Запис одного рядка масиву трьохмірних векторів:
 крива 1 відповідає поперечній складовій поля дефекту - H_x ;
 крива 2 – позадвожній - H_y ; крива 3 – вертикальній H_z .

З таким масивом зручно працювати як із кольоровим зображенням, де інтенсивністю кольорових складових представляє величину вектора магнітної індукції. До такого представлення дефектоскопічної інформації можна пробувати застосувати відомі алгоритми розпізнавання зображень. Для кращого графічного представлення, бажано попередньо вирівняти максимум і мінімум сигналу до динамічного діапазону зображення. Файл зображення можна швидко завантажити в середовище Matlab за допомогою функції `imread`.

На основі записаного розподілу поля в площині над зразком з дефектом можна отримати сигнал при довільному зміщенні датчика відносно краю зразка шляхом вибору і візуалізації окремого рядка цього масиву за допомогою спеціально розробленої програми, графічний інтерфейс якої представлено на рис. 14. Таким чином можна здійснити достовірну імітацію сигналу отриманого багатоканальним трьохкомпонентним датчиком.

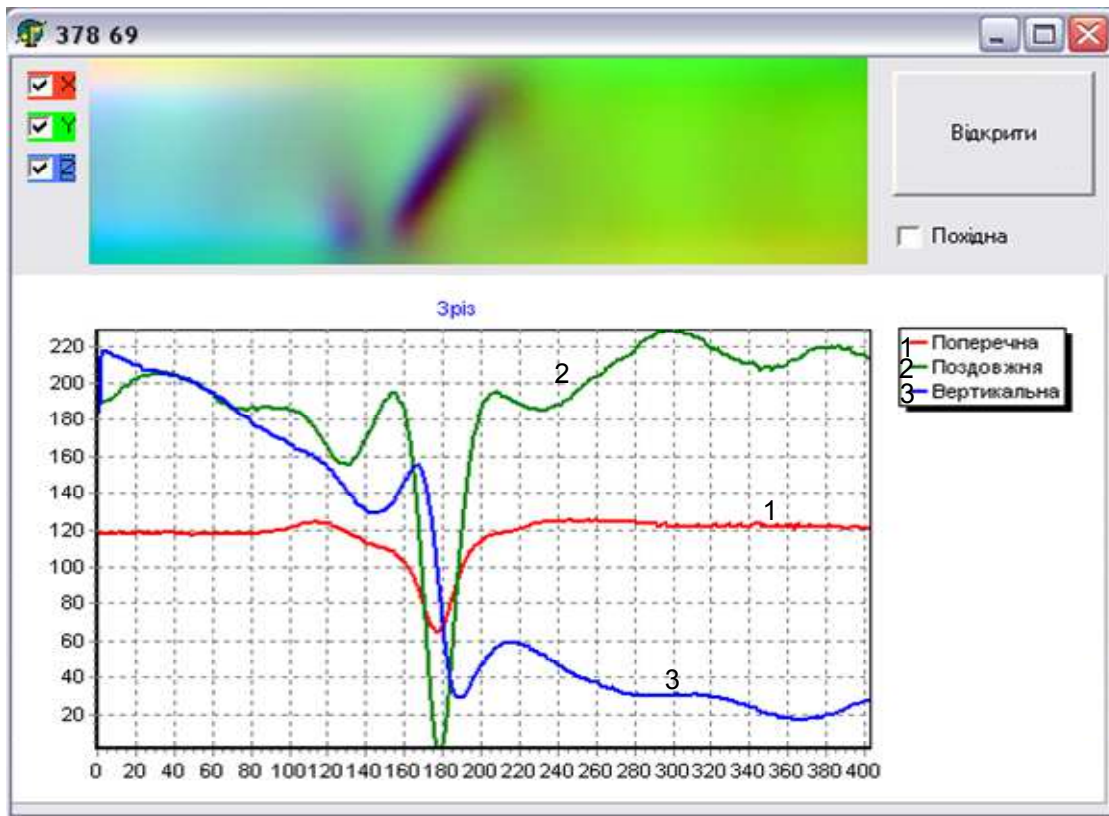


Рис. 14. Графічний інтерфейс програми для вибору окремого рядка з записаного масиву

Наявність усіх трьох складових поля розсіяння дефекту дозволяє побудувати силові лінії магнітного поля для будь-яких складних розподілів. При цьому характер силових ліній поля може використовуватись як додатковий спосіб візуалізації. Для прикладу, на рис. 15 показано зразок з дефектом повернутим на 45° і нахиленим на 30° . На зразку поряд з дефектом розміщена монета номіналом 5 копійок. Оскільки монета виготовлена з магнітного матеріалу – нікелю, вона утримається на зразку магнітним полем.

На рис. 16 показано візуалізацію силових ліній магнітного поля у площині над зразком, виконаного з урахуванням поперечної та повздовжньої складових магнітного поля розсіяння.

Зображення силових ліній магнітного поля може бути більш інформативним для сприйняття оператором. Також силові лінії зручніше використовувати для побудови зображення в системах з монохромним монітором.

Висновки

Для побудови компонентних і багатоканальних діагностичних систем на основі магнітних методів дефектоскопії нагальною потребою є розробка відповідних високоефективних давачів, які дозволяють

виявляти, аналізувати і класифікувати дефекти залізничних рейок та інших технічних об'єктів.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень:

1) створені нові високоефективні інтегральні, локальні і точкові дво – і трикомпонентні індукційні давачі, які при обмежених масі і габаритах забезпечують вищу чутливість, ніж існуючі штатні давачі (в перерахунку на одну складову магнітного поля, яку реєструють існуючі однокомпонентні давачі на магнітних вагонах –дефектоскопах);

2) запропонована методика оцінки чутливості рейкових індукційних давачів і відповідна система технічних параметрів для оцінки їх ефективності, яка апробована в лабораторних і натурних умовах;

3) для створення нових високоефективних компонентних та багатоканальних систем магнітної рейкової дефектоскопії запропоновано використати точкові давачі на ефекті Холла, на основі яких можуть бути створені матричні рейкові сенсори;

4) створений діагностичний компонентний і багатоканальний лабораторний стенд для перевірки ефективності магнітних каналів дефектоскопів та дослідження, аналізу та опрацювання складних нестационарних сигналів дефектів сучасними методами.

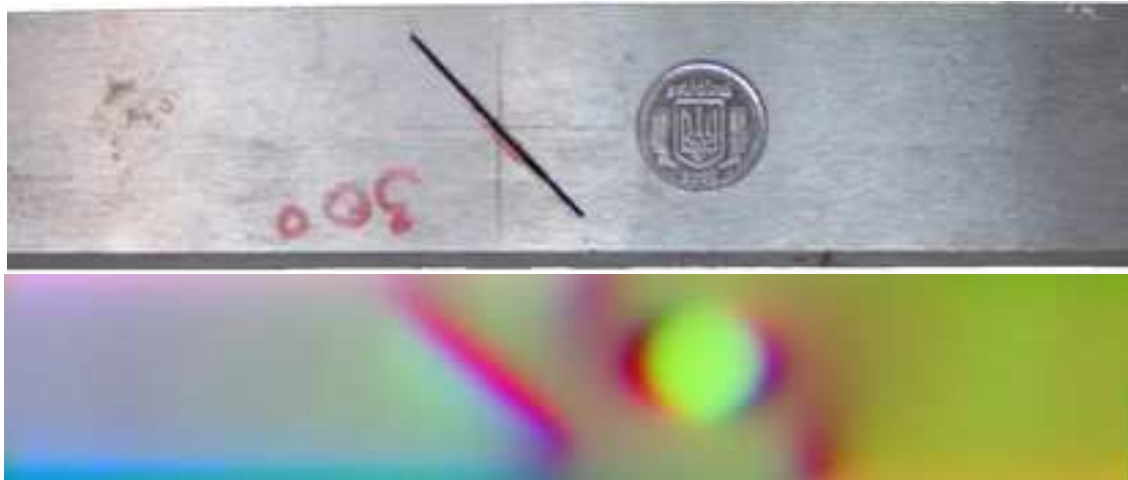


Рис. 15. Зразок з дефектом повернутим на 45° і нахиленим на 30° і монетою номіналом 5 копійок (зверху) і візуалізація поля над ним за допомогою яскравості кольорових компонент (знизу)

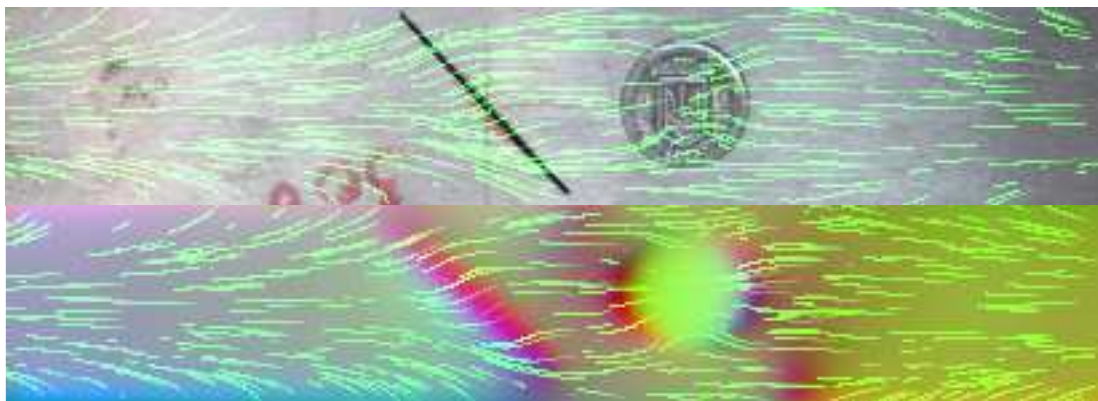


Рис. 16. Візуалізація силових ліній магнітного поля у площині над зразком

Література

1. Неразрушающий контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте / А.К.Гурвич, Б.П.Довнар, Б.В. Козлов, Г.А. Круг и др. / Под ред. А.К.Гурвича.- М.; Транспорт,1983.-318с.
2. Марков А.А., Антипов А.Г. Магнитодинамический метод контроля рельсов в вагонах-дефектоскопах //Путь и путевое хозяйство № 12, 2012.- С.9-15.
3. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів та рейок залізниць України /Даниленко Е., Орловський А., Татуревич А., Уманов М., Сливець Д. За ред. Е. Даниленко, А. Орловського, -Дніпропетровськ: Арт-Пресс, 2000.-148с.
4. В.О. Нічога, П. Б. Дуб, В.М. Іванчук Сучасний стан методів та апаратури для швидкісної технічної діагностики залізничної колії електромагнітними методами // Фізичні методи та засоби контролю середовищ матеріалів та виробів (серія). Випуск 12: Неруйнівний контроль та технічна діагностика матеріалів і конструкцій: Зб. наук праць. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2007. – С. 3-15.
5. В.О.Нічога, Г.Р.Трохим, І.В.Сторож, С.Кучма Перспективи використання багатокомпонентної дефектоскопії при магнітодинамічній діагностиці рейок залізничної колії Тези VI Міжнародної науково-технічної конференції "Україна у європейському просторі. Проблеми бізнесу, політики, права." – Львівський університет бізнесу і права. - 29-30 квітня 2010 року, Львів. - С.246-248.
6. В. О. Нічога, П. Б. Дуб Вимірювання рейкових струмів вертикально орієнтованими індукційними давачами // Відбір і обробка інформації. – 2003. – Вип. 19 (95). – С. 78-82.
7. В.О. Нічога, П.Б. Дуб, Г.Р. Трохим, В.М. Іванчук, І.В. Сторож, Ващишин Л.В. Дослідження методів відбору і опрацювання діагностичних сигналів при багатокомпонентній магнітній дефектоскопії

- залізничних рейок: Звіт по НДР НД-25-4.7 / ФМІ НАНУ, № держреєстрації 0110U000435, Львів.– 2010. – 93 с.
8. Ничога В.А. Измерение весьма слабых низкочастотных магнитных полей в геофизических и космических исследованиях // Отбор и передача информации. - Вып.9. - 1993. - С. 70-77
 9. Ничога В.А. Методика экспериментального исследования низкочастотных индукционных магнитоприёмников для электроразведочной аппаратуры // Геофизическая аппаратура - Л.: Недра. - 1967. - Вып.31.-С. 83-92.
 10. R.K. Amineh, M. Ravan, S.H. Hesam Sadeghi, R. Moini Using AC field measurement data at an arbitrary liftoff distance to size long surface-breaking cracks in ferrous metals // NDT&E International 41. – 2008. – P. 169-177.
 11. <http://www.tcsinspectionsystems.com>.
 12. <http://www.russelltech.com/TSC/Amigo.html>.
 13. В.О. Нічога, П. Б. Дуб Лабораторний стенд для дослідження дефектів рейок модернізованим методом АCFM // 14 Міжнародна науково-технічна конференція "Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів"- ЛЕОТЕСТ-2009, 16-21 лютого 2009р., Славське Львівської обл.. Матеріали конференції.(тези) – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2009. – С.35-36
 14. В.Нічога, В.Проненко Малогабаритні індукційні давачі для діагностики середовищ і об'єктів//Вісник Національного університету "Львівська політехніка". радіоелектроніка та телекомунікації.– 2012. – Вип.738.– С. 65-74.
 15. SS39ET/SS49E/SS59ET Series Linear Hall-Effect Sensor ICs
http://sensing.honeywell.com/product%20page?pr_id=36526
- Ничога В.А., Дуб П.Б., Сторож И.В. Компонентные датчики для магнитной диагностики технического состояния железнодорожных рельсов.** Для построения компонентных и многоканальных систем для магнитной дефектоскопии с использованием вагонов-дефектоскопов необходимы многокомпонентные датчики для регистрации искажений магнитного поля дефектов рельс. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований предложены новые двух- и трехкомпонентные датчики, в том числе точечные рамочные и локальные ферромагнитные, которые при ограниченной массе и габаритах обеспечивают более высокую чувствительность, нежели существующие штатные датчики.
- Для проверки чувствительности рельсовых датчиков предложена методика их калибровки, которая к настоящему времени вообще отсутствовала.
- Предложены, исследованы и апробированы на специально созданном диагностическом стенде точечные датчики на основе эффекта Холла, на базе которых будут созданы матричные многоканальные и компонентные рельсовые сенсоры.
- Ключевые слова:** вагон-дефектоскоп, дефекты рельсов, индукционный датчик, компоненты поля, интегральный датчик.
-
- V. Nichoga, P. Dub, I. Storozh. Component sensors for magnetic diagnostics of railroad track rails technical condition.** Multicomponent sensors for rail defects magnetic field distortions record are necessary to design the component and multichannel systems for magnetic non-destructive testing using flaw detector cars. New two and three component sensors including point frame and local ferromagnetic ones which, having limited mass and dimensions, provide higher sensitivity than existing standard sensors do, have been proposed as a result of conducted theoretical and experimental investigations.
- The procedure of the rail sensors calibration, which has not existed until now, was proposed for sensors sensitivity verification.
- Point sensors based on the Hall effect have been proposed, investigated and tested on specially designed failure-detecting stand. Matrix multichannel and component rail sensors will be designed on the basis of such point sensors.
- Key words:** flaw detector car, rail defects, induction sensor, field components, integral sensor.

Рецензент к.т.н., доцент Орлевич І.Д.
(Національний університет «Львівська політехніка»)

Поступила 17.03.2014г.