

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**



КОЖУХАР ПАВЛО ВІКТОРОВИЧ

УДК 621.3.082.78; 621.397.6; 621.398

**КІЛЬКІСНИЙ КОНТРОЛЬ МАГНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ ДОКУМЕНТІВ
МАГНІТООПТИЧНОЮ ТЕЛЕВІЗІЙНОЮ СИСТЕМОЮ**

Спеціальність 05.12.17 — радіотехнічні та телевізійні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ — 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України на кафедрі радіотехнічних пристроїв та систем.

Науковий керівник: кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Агаліді Юрій Сергійович
Національний технічний Університет України
“Київський політехнічний інститут”,
старший науковий співробітник кафедри
радіотехнічних пристроїв та систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Нікітенко Юрій Гордійович
Державне підприємство
Науково-дослідний інститут
радіолокаційних систем “Квант-Радіолокація”,
головний науковий співробітник;

кандидат технічних наук, доцент
Слонов Михайло Юрійович
Воєнно-дипломатична академія ім. Євгенія Березняка,
доцент кафедри спеціальних дисциплін.

Захист відбудеться “24” жовтня 2016 р. о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.002.14 в Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут” за адресою: 03056 м. Київ, пр. Перемоги, 37, корп. 1., ауд. 163.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” за адресою: 03056 м. Київ, пр. Перемоги, 37

Автореферат розісланий “19” вересня 2016 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д26.002.14
д. т. н., проф.



Л. О. Уривський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Документи, як носії передачі інформації в зафіксованому вигляді, часто засвідчують права власності та містять елементи технічного захисту. Тому існує необхідність контролю оригінальності документів як на етапі виробництва, так і в процесі експлуатації. Задачі контролю оригінальності документів (у т. ч. цінних паперів і грошових знаків) ускладнюються та актуалізуються через різкий зріст можливостей якісної фальсифікації, завдяки здешевленню і підвищенню доступності засобів оргтехніки, комп'ютерних та інструментальних технологій. Виявлення ознак фальсифікації постійно потребує застосування новітніх спеціальних засобів контролю фізико-хімічних властивостей документів. Магнітний захист, що полягає у введенні в складові частини документу феромагнітних матеріалів (магнітні фарби, металеві стрічки і волокна), є одним із найскладніших способів захисту документів для його автентифікації. Тому дослідження магнітних параметрів документів, які характеризують властивості магнітного захисту, є одним із перспективних напрямків їх контролю.

Відомі засоби контролю магнітних параметрів документів розрізняють за типом контролю: кількісний або якісний. При кількісному (топографічному) контролі на відміну від якісного (топологічного, трасологічного) знаходять значення фізичних величин, що характеризують об'єкт контролю. Вірогідність контролю документів підвищується за рахунок виконання комплексного контролю — застосування як топологічних та трасологічних, так і топографічних методів, що ускладнено необхідністю використання декількох типів датчиків зі спеціалізованими методами обробки сигналів. Засоби, що реалізують комплексний (більш вірогідний) контроль, наразі невідомі.

Існує потенційна можливість комплексного контролю з використанням лише магнітооптичного (МО) датчика. Для цього необхідно забезпечити кількісну оцінку просторового розподілу магнітного поля документу МО системами. Відомий метод МО топографування, що полягає у суперпозиції поля об'єкта контролю каліброваним полем компенсації (для забезпечення необхідного динамічного діапазону), має суттєві недоліки: дослідження обмежується об'єктами з власним полем, висока трудомісткість, складність інтерпретації і порівняння. Крім того такий підхід розширення динамічного діапазону МО перетворювача не застосовується для контролю магнітних параметрів документів через недостатньо опрацьовані питання збудження поля розсіяння магнітної фарби документів, його взаємодії з МО перетворювачем, відсутні напрацювання щодо вимірювання, обробки та порівняння магнітних параметрів документів з використанням МО телевізійних систем (МОТС). Тому комплексний контроль магнітних параметрів документів магнітооптичними засобами наразі не проводиться.

Отже виникає **актуальна наукова задача**, що полягає в розробці нової МОТС, яка забезпечуватиме кількісний контроль магнітних параметрів документів для підвищення вірогідності їх контролю.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами темами. Роботу виконано на кафедрі радіотехнічних пристроїв та систем радіотехнічного факультету НТУУ “КПІ” в рамках науково-дослідної роботи “Нові матеріали та технології. Розробка та інженерно-конструкторське опрацювання магнітооптичних приладів (комплексів) для неруйнівного дослідження поверхонь та середовищ” № 186 від 29 січня 2003 р. та додаткових угод № 7-05/186 від 01.12.2005 р., № 8-06/186 від 20.03.2006 р., № 9-11/186 від 26.12.2011 р., № 12-14/186 від 24.12.2014 р. відповідно затвердженим календарним планам 2010 – 2014 років.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення вірогідності контролю магнітних параметрів документів шляхом розробки нової МОТС що забезпечує їх кількісний контроль. Для її досягнення вирішувалися наступні завдання:

1. Створення математичної моделі взаємодії МО перетворювача з розсіяним магнітним полем дисперсних феромагнетиків та магнітним полем джерела компенсації.

2. Удосконалення методу МО топографування для забезпечення вимірювання магнітних параметрів документів з використанням цифрових МОТС.

3. Розробка МОТС із цифровими методами обробки інформації, що дозволяє виконувати кількісний контроль магнітних параметрів документів шляхом обробки зображень, отримуваних удосконаленим методом магнітооптичного топографування.

4. Оцінка чутливості, роздільної здатності та вірогідності контролю документів розробленою МОТС шляхом натурного моделювання.

Об'єкт дослідження — контроль магнітних параметрів документів.

Предмет дослідження — методи кількісного магнітного контролю документів телевізійними системами на основі магнітооптичних перетворювачів.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач використовувались основні положення теорії математичної статистики, теорії поля, методи чисельного комп'ютерного моделювання, метод натурного моделювання на дослідних зразках розроблених пристроїв.

Наукова новизна роботи.

1. Вперше розроблено МОТС, яка на відміну від відомих, включає підсистеми формування і компенсації двовимірного розподілу розсіяного магнітного поля елементів документа та реалізує метод цифрової автоматизованої обробки магнітооптичних зображень, що дозволяє виконувати не лише якісний, а і кількісний контроль магнітних параметрів документів, який не забезпечують відомі МОТС.

2. Вперше розроблено узагальнений метод кількісного контролю магнітних параметрів документів з використанням МОТС, який ґрунтується на побудові гістограм двовимірного розподілу магнітної індукції, їх апроксимації, нормалізації та порівнянні, що дозволяє класифікувати зразки магнітного друку.

3. Удосконалено метод МО топографування введенням джерела магнітного поля та сумісної обробки МО зображень телевізійною системою, що на відміну від відомого методу, дозволяє отримувати сигнал двовимірного розподілу розсіяного магнітного поля елементів документа у матричній цифровій формі.

4. Вперше розроблено математичну модель взаємодії МО перетворювача з

розсіяним магнітним полем дисперсних феромагнетиків та магнітним полем каліброваного джерела компенсації.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Забезпечено комплексний контроль як топологічних (форма, розміри, геометричне розташування) так і топографічних (просторовий розподіл амплітуд) властивостей магнітних елементів документів розробленою МОТС за рахунок вимірювання просторових розподілів індукції магнітного поля досліджуваних областей з подальшою побудовою і порівнянням гістограм цих розподілів.

2. Вірогідність правильної ідентифікації розглянутих зразків магнітного друку побутовими принтерами в розробленій МОТС становить від 66% до 100 % за рахунок виконання кількісного контролю, при цьому відомий якісний метод забезпечує лише 22%.

3. Забезпечено виявлення фальсифікації магнітного захисту розглянутих зразків банкнот розробленою МОТС, за рахунок кількісного порівняння їх магнітних параметрів, у той час коли підробку неможливо детектувати відомим якісним методом через тотожність топології їх магнітних компонентів.

4. Запропоновано методику оцінки чутливості та роздільної здатності, що дозволяє визначати граничні розміри конкретного зразка магнітного друку, які здатна відтворити МОТС. Чутливість розробленої МОТС контролю магнітних параметрів документів дає можливість реєструвати штрихи магнітної фарби шириною від 21 мкм при співвідношенні сигнал/шум не менше 6,5 дБ. Її роздільна здатність забезпечує розрізнення окремих штрихів магнітної фарби на відстані 42 мкм зі співвідношенням сигнал/шум 6 дБ.

5. Наукові та практичні результати впроваджено в: 1) МОТС комплексного контролю магнітних параметрів документів “Регула 4197” та “Регула 7701М”, які серійно виготовляються та успішно експлуатуються експертами-криміналістами в установах більш ніж 40 країн світу, зокрема у Національному банку Королівства Нідерланди та Штаб-квартирі Європолу у Гаазі; 2) новітній методиці криміналістичних досліджень об’єктів магнітного друку на інструментальній основі зазначених МОТС; 3) електронній Інформаційно-довідковій системі “Сигренсу”, в якій зразки вимірювань магнітних параметрів банкнот світу отримані зазначеними МОТС.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідались на:

- IV міжнародній науково-практичній конференції “Спеціальна техніка у правоохоронній діяльності” (Київ, 2009 р.),
- International Conference “Functional Materials” (Партеніт, 2011 р., 2013 р.),
- Міжнародній науково-технічній конференції “Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи” (Київ, 2013 р.).

Зразки МОТС успішно демонструвалися на багатьох міжнародних виставках з питань захищеного друку та криміналістичних досліджень.

Основний внесок автора. Основні теоретичні положення, результати моделювання та експериментального дослідження в дисертаційній роботі отримані автором самостійно. У співавторстві з науковим керівником сформульовані мета і задачі досліджень, висновки. Особистий внесок автора в наукових працях, опублікованих у співавторстві з колективом галузевої науково-дослідної

лабораторії “Методів і засобів спец. призначення” каф. РТПС НТУУ “КПІ”, такий: в [1, 2] представлено напрацювання в галузі магнітного контролю з використанням МОТС, в [4, 9] представлені результати розробки засобів неруйнівного контролю, що забезпечують МО візуалізацію елементів магнітного захисту документів і оцінку їх магнітних властивостей, проведено відносну оцінку чутливості і роздільної здатності цих засобів; в [3, 5, 10] представлено теоретичну модель і результати експериментальних досліджень магнітних характеристик елементів друку, виконаних фарбами на основі дисперсних феромагнетиків, описано метод їх кількісного контролю і експериментальну установку, що реалізує удосконалений метод магнітооптичного топографування; в [6] виконано моделювання запатентованого [8] способу частотного управління струмом реактивного навантаження, за допомогою якого виконується живлення компенсаційного джерела магнітного поля в удосконаленому методі МО топографування, в [7, 11] формалізовано поняття чутливості і роздільної здатності МОТС, розроблено методику їх оцінки, що ґрунтується на кількісній оцінці сигналів і шумів зображення, отримано експериментальні значення чутливості та роздільної здатності при дослідженні типових об’єктів контролю; в [12] описано узагальнений метод кількісного магнітного контролю з додатковою обробкою експериментальних даних магнітної оцінки [3], що полягає в їх апроксимації та нормалізації і дозволяє підвищити вірогідність контролю документів шляхом зменшення типових спотворень і шумів, проведено експериментальні дослідження цього методу обробки.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 12 наукових праць, зокрема 7 статей у наукових фахових виданнях, з яких 2 статті у виданнях іноземних держав та 1 стаття у виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз Scopus та Inspec; 1 патент України на корисну модель; 4 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 81 найменування і 1 додатку. Загальний обсяг дисертації складає 122 сторінки, які включають 55 рисунків та 10 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, визначено мету і задачі дослідження, вказані наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, подано відомості про особистий внесок здобувача, впровадження і апробацію результатів дослідження.

У першому розділі проаналізовано сучасні методи контролю документів, з якого видно, що обраний напрямок дослідження магнітооптичного контролю документів є дійсно маловивченим, але перспективним для наукових результатів і їх застосування на практиці. Проаналізовано відомий метод топографування (кількісної оцінки) просторового розподілу магнітного поля магнітооптичними датчиками, його переваги і недоліки. Сформульовано задачі дослідження.

Вірогідність контролю визначається стандартами, як показник ступеня об’єктивного відображення результатами контролю дійсного технічного стану

виробу. Її можна визначити імовірністю пропуску деталей з явними дефектами, або необґрунтованою браковкою придатних деталей. Вірогідність магнітного контролю документів визначається повнотою даних і може бути підвищена із застосуванням комплексного контролю, однак в даний час для цього доводиться використовувати набір засобів із різними датчиками, що значно здорожує і без того високотоварний контроль. Відносно великі розміри точкових гальваноманітних та магнітоелектричних датчиків не дають змоги візуалізувати магнітний захист з достатньою для топологічного та трасологічного контролю роздільною здатністю (десятки мкм). У той же час МО датчики характеризуються обмеженим намагніченістю насичення динамічним діапазоном, що не дозволяє виконувати топографічний контроль документів.

У відомих наукових джерелах, присвячених проблемам магнітографування, вирішуються задачі контролю якості різноманітних джерел магнітного поля (постійні магніти, сигналограми магнітних носіїв, полюси магнітних головок, провідники зі струмом, намагнічені вироби із магнітом'яких матеріалів) на рівні побудови топограмм напруженості магнітного поля в певній площині біля його джерела. Застосування магнітооптики для топографування магнітних полів документів у т. ч. відносно слабких розсіяних полів дисперсних феромагнетиків (магнітної фарби) не відомі.

Існує метод магнітного топографування у прикладеному компенсаційному магнітному полі, що фізично зводиться до знаходження розподілу поля по конфігураціям доменних структур індикаторної магнітооптичної плівки, які утворюються під дією цього поля і додаткового компенсаційного поля. На жаль роботи в цьому напрямку зараз майже не ведуться. Метод досліджувався в лабораторних умовах, а засобів, що його реалізують не знайдено. Враховуючи час створення (≈ 1990 р.), метод дуже трудомісткий, не передбачає автоматизації і постпроцесінгової обробки даних. Але з використанням сучасних телевізійних систем, комп'ютерної техніки та мікроелектроніки розглянутий метод може набути нових властивостей, як інструмент магнітного контролю документів, цінних паперів і грошових знаків. Для цього слід усунути суттєві недоліки і обмеження методу:

1. Застосування методу для топографування магнітних полів документів в науково-технічній літературі не знайдено, тому потребує всебічного дослідження.

2. Метод не дозволяє виконувати топографування матеріалів з низькою залишковою індукцією, дослідження обмежується об'єктами із власним магнітним полем. У той час як магнітними елементами документів переважно є дисперсні магнітом'які та магнітотверді матеріали.

3. Значний час дослідження і трудомісткість, оскільки картини магнітного поля фіксуються на мікрофотографіях, за масивом яких вручну будується топограма джерела магнітного поля.

4. Інтерпретація результатів магнітної оцінки у вигляді топограми ліній рівної напруженості неприйнятна для дослідження документів через високу частоту чергування магнітно-гетерогенних компонентів. Аналоговий спосіб представлення топографічної інформації не придатний для обробки сучасними обчислювальними пристроями.

5. Відсутні методи порівняння даних вимірювань магнітного поля, що забезпечують класифікацію документів, необхідну при виконанні їх контролю.

На основі причин розглянутих недоліків методу магнітооптичного топографування сформульовано наукові завдання.

У **другому розділі** виконано аналіз особливостей роботи МО перетворювачів, зокрема створено математичну модель взаємодії МО перетворювача з розсіяним магнітним полем дисперсних феромагнетиків і магнітним полем джерела компенсації та удосконалено метод МО топографування для забезпечення кількісного контролю документів з використанням цифрових МОТС.

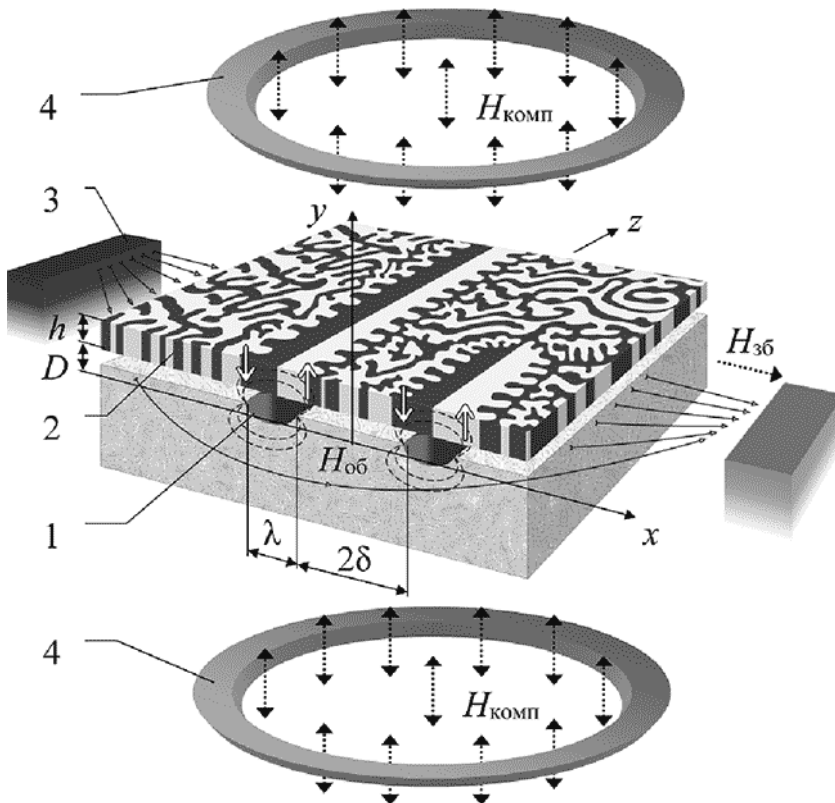


Рис. 1. Схема магнітної взаємодії в системі вимірювання магнітних параметрів документів

каліброване джерело магнітного поля компенсації (4) у вигляді системи котушок Гельмгольца, яке створює нормальне магнітне поле та в суперпозиції з нормальною компонентою магнітного поля розсіяння документу утворює реєстрований просторовий розподіл намагніченості магнітооптичного датчика.

Магнітні поля розсіяння документу містять нормальну компоненту, яка діє вздовж легкої осі магнітооптичного перетворювача і викликає відповідну перебудову його смугової доменної структури. Для випадку $\lambda \gg 2\delta$ розподіл напруженості магнітного поля штрихів магнітної фарби вздовж осі x (рис. 1) обчислюється за (1). Поверхнева магнітна індукція $B_{об\max}^n$, як параметр (1), залежить від амплітуди намагніченості носія $M_{об\max}$ (2), яка в свою чергу визначається напруженістю магнітного поля збудження $H_{зб}$, залишкової попередньої намагніченості $M_{об0}$ та величиною його магнітної проникності $\mu_{об}$ (3).

Запропонована математична модель взаємодії МО перетворювача з розсіяним магнітним полем дисперсних феромагнетиків та магнітним полем джерела компенсації (рис. 1), включає контрольований документ у вигляді штрихів ідеалізованої магнітної фарби (1) шириною λ , товщиною D , які знаходяться на відстані 2δ ; МО перетворювач (2) з високою магнітною анізотропією, чутливий до нормальної складової магнітного поля; джерело магнітного поля збудження (3), яке намагнічує контрольований документ та, маючи тангенціальний напрямок, практично не впливає на МО перетворювач;

$$H_{об}^n = \frac{B_{об\max}^n}{\pi\mu_0\mu_{об}} \cdot \ln \left[\frac{(x+\delta)^2 + (y+D)^2}{(x+\delta)^2 + y^2} \cdot \frac{(x-\delta)^2 + y^2}{(x-\delta)^2 + (y+D)^2} \right], \quad (1)$$

де $B_{об\max}^n$ — амплітуда поверхневої індукції на лицевій стороні магнітних штрихів, x — координата розподілу $H_{об\max}^n$ вздовж прямої, перпендикулярної штрихам, y — відстань до площини штрихів, D — товщина штрихів, δ — половина відстані між штрихами.

$$B_{об\max}^n = 0,5 \cdot \mu_0 \cdot M_{об\max} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2\pi D}{\lambda}} \right). \quad (2)$$

$$M_{об\max} = M_{об0} + (\mu_0 - 1)H_{зб}. \quad (3)$$

В середньому перерізі магнітооптичного перетворювача з залишковою попередньою намагніченістю $M_{МО0}$ і величиною його магнітної проникності $\mu_{МО}$, присутня нормальна компонента індукції $B_{об}^n$ оцінюваного магнітного поля розсіяння об'єкта контролю, що пов'язана з відповідною напруженістю $H_{об}^n$ відношенням (4). При чому, за умови намагнічування матеріалу до стану насичення ($H_{зб} \geq H_S$) і використання низькокоерцитивних плівок магнітооптичного перетворювача ($H_{СМО} \rightarrow 0$), в виразах (3) та (4) залишковою попередньою намагніченістю $M_{об0}$ та $M_{МО0}$ можна знехтувати.

$$B_{об}^n = \mu_0 \cdot (\mu_{МО} H_{об}^n + M_{МО0}). \quad (4)$$

Оскільки діапазон перестроювання власної доменної структури магнітооптичного перетворювача обмежується величиною її намагніченості насичення $M_{МОS}$, що має замалі значення, оцінка просторового розподілу амплітуд магнітних полів розсіяння об'єкта контролю має виконуватися шляхом знаходження конфігурацій доменних структур магнітооптичного перетворювача, що утворюються в умовах одночасного впливу нормальної компоненти $H_{об}^n$ магнітного поля розсіяння об'єкта контролю і додаткового компенсаційного однорідного поля $H_{комп}^n$. При цьому, умова рівноваги конфігурації доменних структур магнітооптичного перетворювача визначається (5), де малі величини ефективного поля $H_{\sigma}(x)$ та середньої нормальної складової поля розмагнічування $H_N^n(x)$ можна віднести до похибок топографування.

$$H_{об}^n(x) = -H_{комп}^n - H_{\sigma}(x) - H_N^n(x). \quad (5)$$

Отже амплітуда напруженості магнітного поля компенсації цілком визначає напруженість документу у врівноважених областях МО перетворювача (6).

$$H_{об}^n(x) \approx -H_{комп}^n. \quad (6)$$

Для забезпечення бажаного динамічного діапазону вимірювання $H_{об}^n$ слід також забезпечити необхідний динамічний діапазон напруженостей компенсаційного поля $H_{комп}^n$ (7).

$$H_{об\max}^n \leq H_{комп}^n \leq H_{СМО} \quad (7)$$

Враховуючи особливості взаємодії магнітооптичних перетворювачів маг-

нітної фарби в прикладених полях збудження і компенсації удосконалено метод магнітооптичного топографування для задач кількісного контролю магнітних параметрів (рис. 2).



Рис. 2. Функціональна схема системи, що реалізує удосконалений метод топографування просторового розподілу магнітного поля документів.

Документ, що характеризується власним просторовим розподілом магнітної магнітної проникності $\mu_{об}(x, y)$ намагнічується під дією джерела магнітного поля збудження $H_{зб}$. За рахунок девіації магнітної проникності документу в площині МО плівки утворюється вимірюваний нормальний розподіл магнітної індукції $B_{об}(x, y)$ документу. Джерело компенсації у вигляді котушки індуктивності керується послідовністю знакозмінних імпульсів струму з амплітудою, що лінійно спадає. Таким чином забезпечується квантування магнітного поля компенсації $B_{комп}(i)$ в площині магнітооптичного перетворювача з обраним кроком $B_{крок}$. Градування компенсаційної схеми $I_{комп}(i) \sim B_{комп}(i)$ виконується попередньо з використанням магнітометра. На виході МО перетворювача утворюється набір розподілів яскравості світла $L(x, y, i)$, тобто зображень конфігурації доменної структури МО плівки, які залежать від прикладеної до неї магнітної індукції $B_{\Sigma}(x, y, i)$, що є суперпозицією розподілу магнітного поля об'єкта контролю $B_{об}(x, y)$ та магнітного поля джерела компенсації $B_{комп}$, яке приймає значення необхідних рівнів квантування вимірюваного розподілу $B_{об}(x, y)$.

Аналоговий спосіб представлення топографічної інформації у вигляді ЛРН відомого методу не прийнятний для обробки сучасними обчислювальними пристроями. Тому в удосконаленому методі використовується інший підхід до формування вихідних даних вимірювання. Отримувані зображення фіксуються телевізійною системою контролю, де вони проходять спеціальну обробку запропонованим алгоритмом сумісної обробки МО зображень. Даними для оцінки розподілу $B_{об}(x, y)$ виступає МО зображення області контролю $\bar{L}(x, y)$, в яскравості точок якого закодовано значення вимірюваної магнітної індукції. Приклад отримуваних зображень при шести рівнях квантування для об'єкта контролю зі штрихами магнітної фарби подано на рис. 3.

За даними розподілу $B_{об}(x, y)$ розраховується модуль нормальної складової магнітного потоку Φ крізь площину S області контролю (8).

$$|\Phi^n| = \sum_i |B_{\text{комп}}(i)| \cdot n_i \cdot S, \quad (8)$$

де S — фізичний розмір (площа) точки зображення, n_i — кількість точок зображення перемагнічених відповідним полем компенсації $B_{\text{комп}}(i)$.

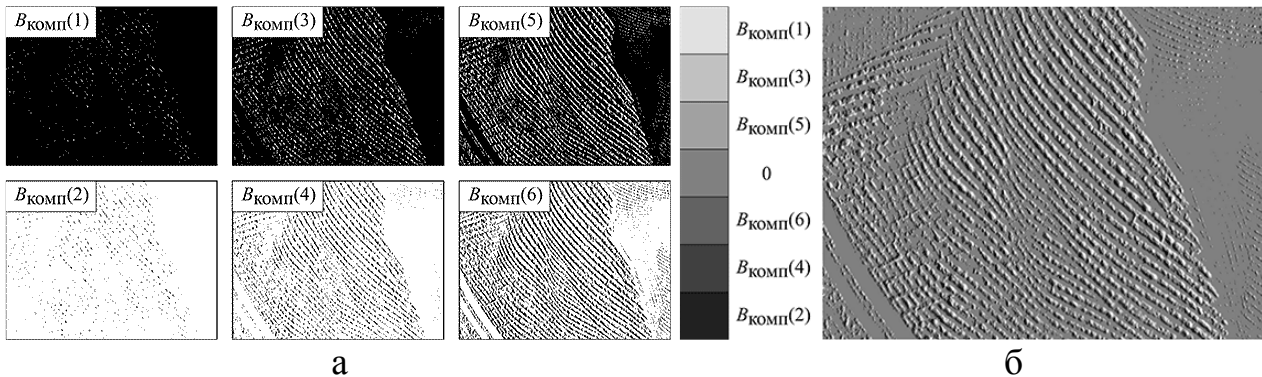


Рис. 3. Приклад оцінки розподілу магнітного поля для штрихів магнітної фарби:
 а — вихідний масив МО зображень $L(x, y, i)$ введених з відмінними, градуйкованими по амплітуді значеннями компенсаційного магнітного поля $B_{\text{комп}}(i)$,
 б — кінцеве МО зображення з відомою відповідністю між яскравістю та вимірним значенням магнітного поля документа $\bar{L}(x, y) \sim B_{\text{об}}(x, y)$.

Таким чином на виході МОТС маємо кількісні магнітні характеристики об'єкта контролю $|\Phi^n|$ та $B_{\text{об}}(x, y)$ в придатному для подальшої обробки обчислювальними системами вигляді, тому вони, на відміну від відомого методу, можуть використовуватись для кількісного контролю магнітних параметрів документів.

Третій розділ присвячено розробці цифрових методів обробки зображень МОТС, зокрема узагальненого методу кількісного контролю магнітних параметрів документів, що дозволяє їх класифікацію, розробці методики оцінки чутливості та роздільної здатності запропонованої магнітооптичної системи контролю документів.

Основною задачею кількісного контролю документів є виявлення їх фальсифікацій шляхом порівняння контрольованих та еталонних зразків. В загальному випадку при порівнянні документів виконується задача їх класифікації, а саме — встановлення належності отриманих даних кількісної оцінки магнітних параметрів документа до класу оригінальних. При великій кількості рівнів квантування, враховуючи високу частоту чергування магнітно-гетерогенних компонентів документа та складність позиціонування МОТС на одній і тій же області контролю документа пряме порівняння розподілів $B_{\text{об}}(x, y)$ зустрічає значні складнощі. Тому розроблено спеціальний метод кількісного контролю магнітних параметрів документів (рис. 4), який включає:

1. Вимірювання просторових розподілів магнітного поля $B(x, y)$ еталонних і контрольованого документів запропонованим вище методом.
2. Обчислення функцій, що характеризують магнітні параметри документів $f(B)$ за даними вимірювань.
3. Визначення кількісних показників розбіжності d магнітних параметрів для усіх можливих пар документів.

4. Встановлення належності контрольованого документу до класу еталонних за критерієм $\max\{d_{K-E1}, d_{K-E2}, \dots, d_{K-Ei}\} \leq \max\{d_{E1-E2}, d_{E2-Ei}, \dots, d_{E1-Ei}\}$, де $\{d_{E1-E2}, d_{E2-Ei}, \dots, d_{E1-Ei}\}$ — масив значень розбіжності d між парами еталонних документів, які є навчальною вибіркою класифікації, а $\{d_{K-E1}, d_{K-E2}, \dots, d_{K-Ei}\}$ — між парами еталонних і контрольованого документів.

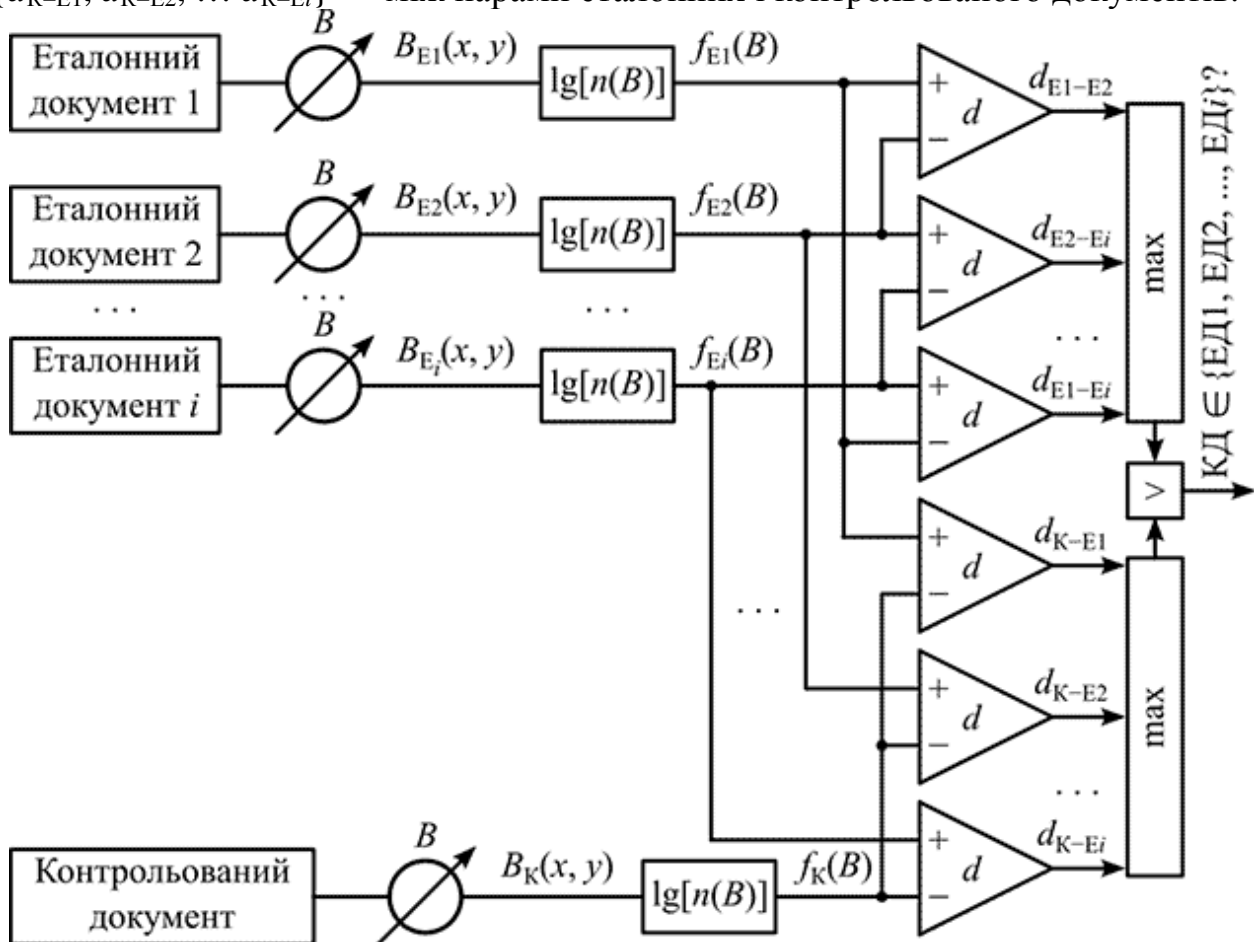


Рис. 4. Функціональна схема методу кількісного контролю магнітних параметрів документів.

Роботу цього методу ілюструє виконаний нижче теоретичний експеримент з дослідження ефективності можливих способів порівняння даних кількісної оцінки магнітних параметрів документів. Для цього змодельовано розподіли $B(x, y)$ трьох документів (Об'єкт 1, Об'єкт 2, Об'єкт 3). При цьому дані, що закладаються в моделі об'єктів, свідчать про відмінність їх магнітних параметрів таким чином, щоб вони належали до класів відповідно таблиці 1.

Таблиця 1. Модельовані об'єкти контролю.

Об'єкт	1	2	3
Розміщення магнітних складових			
Клас (дисперсія)	Фальшиві ($s^2(B_{об\ max})=1,6\ \text{мТл}^2$)	Оригінальні ($s^2(B_{об\ max})=0,16\ \text{мТл}^2$)	

Фізично кожний об'єкт представляється у вигляді набору вертикальних ліній магнітної фарби товщиною 30 мкм, розміщених на відстані 80 мкм. Такі розміри характерні для елементів магнітного друку банкнот. Дисперсія магнітних складових модельованих об'єктів класу оригінальних менша ніж класу фальшивих. Крім того вертикальні лінії об'єкту 3 зміщені горизонтально на 15 мкм в області дослідження, що імітує похибку позиціювання об'єкту та МОТС, і не повинно створювати завад у віднесенні об'єктів 2 і 3 до одного класу, як "виготовлених" з магнітної фарби одного типу.

В запропонованому методі контролю дані магнітної оцінки $B_{об}(x, y)$ представляються у вигляді спеціальної функції — гістограми кількості точок контрольованої площини з відповідним значенням магнітної індукції $f(B) = \lg[n(B_{об})]$. Такий підхід з одного боку дає можливість врахувати статистичні особливості розподілу, а з другого — зменшити вплив похибки позиціювання та відмінностей магнітного рисунку контрольованих областей на результат порівняння документів. Побудовані гістограми розподілу магнітної індукції $n(B_{об})$ (рис. 5) цілком відрізняють характеристики змодельованих об'єктів і дозволяють їх класифікацію. Оскільки переважна кількість точок МО зображення має низькі значення магнітної індукції, а важливими для порівняння документів є високі значення, гістограми представлені в логарифмічному масштабі. Результати кількісного порівняння об'єктів представлені в таблиці 2.

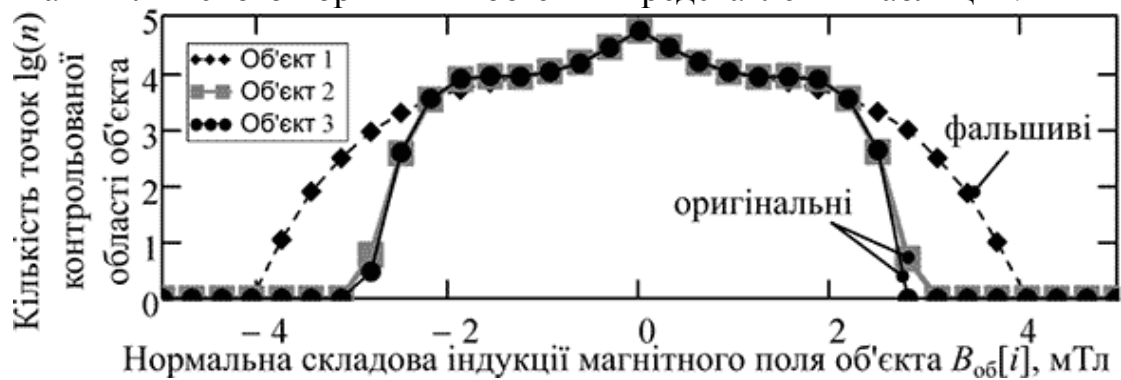


Рис. 5. Гістограми магнітної індукції змодельованих об'єктів

Таблиця 2. Порівняння змодельованих об'єктів.

Об'єкти контролю			1 і 2	1 і 3	2 і 3
Похибка позиціювання			–	+	+
Різні класи об'єктів контролю			+	+	–
Показники неподібності (різних класів) об'єктів	можливі	σ_{Φ} , нВб ²	0,04	0,01	0,01
		σ_B , мТл ²	0,07	1	0,94
	запропонований	d , мТл	53	56	3

Використання у якості коефіцієнта розбіжності квадратичного відхилення магнітних потоків (9) або СКВ (10) розподілів магнітної індукції не ефективно. В розробленому методі контролю оцінка ступені неподібності виконується за критерієм дистанції гістограм d (11), за яким впевнено виявляється імітована підробка, що виражається в його високих значеннях для пар свій-чужий. При цьому похибка позиціювання впливає на результат порівняння набагато менше ніж при порівнянні за СКВ розподілів $B_{об}(x, y)$ (10).

$$\sigma_{|\Phi|} = (|\Phi_{o61}| - |\Phi_{o62}|)^2. \quad (9)$$

$$\sigma_B = \frac{1}{x \cdot y} \sum_x \sum_y (B_{o61}(x, y) - B_{o62}(x, y))^2. \quad (10)$$

$$d = \sum_i |B_{\text{комп}}(i) \cdot (\lg[n_{o61}(i)] - \lg[n_{o62}(i)])|, \quad (11)$$

де $n_{o61}(i)$, $n_{o62}(i)$ — кількість точок контрольованої області об'єктів з відповідним значенням нормальної складової індукції магнітного поля $B_{\text{комп}}(i)$.

В узагальненому методі кількісного контролю магнітних параметрів документів пропонується застосувати додаткову математичну обробку отримуваних гістограм розподілів магнітної індукції, оскільки в них містяться спотворення і шуми, які негативно впливають на результати аутентифікації документів. Серед факторів, що спотворюють дані магнітної оцінки можна виділити: шуми магнітооптичного перетворення, зміну параметрів намагнічування документів, неоднорідність щільності друку документів. Тому пропонується перейти від безпосереднього порівняння розподілів (11) до побудови моделі $n(B)$ і аналізу її параметрів. В запропонованій моделі (12) дані магнітної оцінки представляють суму двох величин з нормальним розподілом, одна з яких ε — описує шуми магнітооптичної системи, а інша — ϑ описує характеристики досліджуваного матеріалу. При чому СКВ цих величин суттєво відрізняється: $\sigma_\vartheta^2 \gg \sigma_\varepsilon^2$.

$$n(B) \approx f(\gamma), \gamma = \varepsilon + \vartheta, \varepsilon \in N(M_\varepsilon, \sigma_\varepsilon^2), \vartheta \in N(M_\vartheta, \sigma_\vartheta^2). \quad (12)$$

Для значної кількості точок МО зображення $\vartheta \equiv 0$ через відсутність в цих точках досліджуваного магнітного матеріалу, тобто кількість немагнітних точок O_ε , як правило, на порядок і більше перевищує кількість магнітних точок O_ϑ . Враховуючи $\sigma_\vartheta^2 \gg \sigma_\varepsilon^2$ та $O_\varepsilon \gg O_\vartheta$, для точок $|\gamma| \geq 3\sigma_\varepsilon$ дані вимірювань апроксимуються звичайним квадратним рівнянням, яке визначатиме властивості документу зі зменшенням шумів намагнічування та МО перетворення. (13).

$$\lg[f(\gamma_i)] = \lg\left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{O_\varepsilon}{(O_\varepsilon + O_\vartheta)\sigma_\vartheta}\right] - \lg(e) \cdot \frac{(\gamma_i - M_\vartheta)^2}{2\sigma_\vartheta^2} = a\gamma_i^2 + b\gamma_i + c. \quad (13)$$

За відомими коефіцієнтами цього рівняння можна нормувати апроксимовані гістограми розподілу магнітної індукції кількох документів, що дозволяє зменшити вплив зміни параметрів намагнічування та неоднорідності щільності друку на результат їх порівняння (14). Після знаходження коефіцієнтів за критерієм мінімуму СКВ j -ті документи порівнюються за апроксимованими та нормалізованими даними (15).

$$f_{\text{норм}}(\gamma, j) = a_j \left(\gamma - \frac{b_j}{2a_j} \right)^2 + b_j \left(\gamma - \frac{b_j}{2a_j} \right) + \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J c_j. \quad (14)$$

$$d_{\text{норм}} = \sum_{i=1}^I |\gamma_i \cdot [f_{\text{норм}}(\gamma_i, j) - f_{\text{норм}}(\gamma_i, j+1)]| \quad (15)$$

Роботу цього узагальненого методу контролю проаналізовано на змодельованих парах тест-об'єктів різних класів: об'єкт 1 та об'єкт 2 з однієї

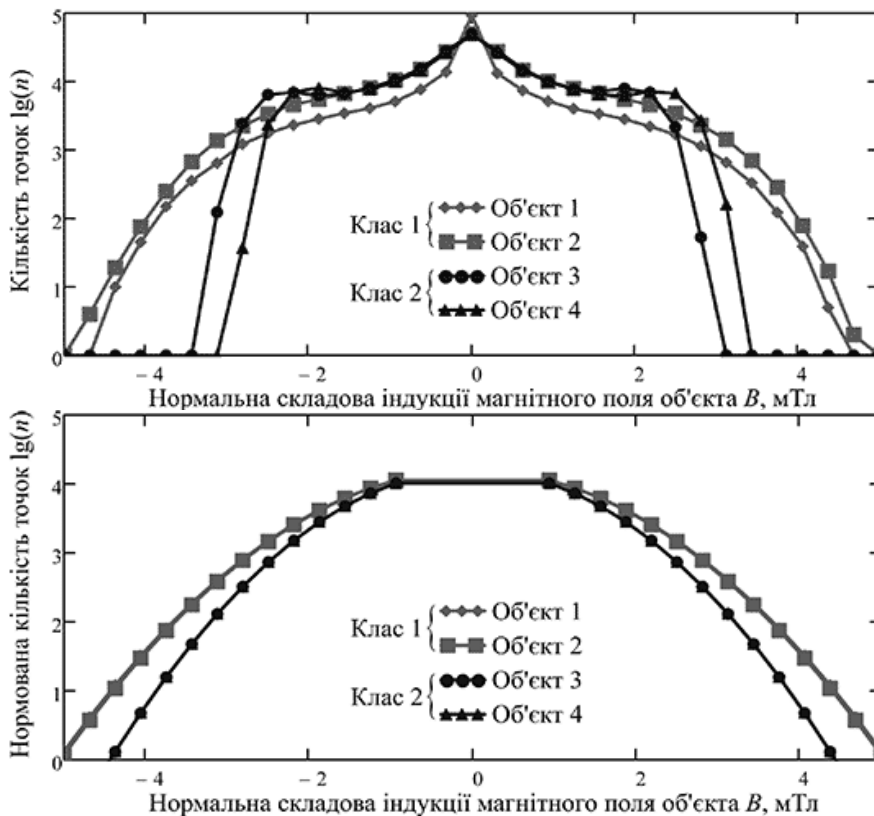


Рис. 6. Вихідні (а) і апроксимовані та нормалізовані (б) гістограми змодельованих об'єктів.

тів одного класу до мінімальної дистанції між гістограмами об'єктів різних класів зменшилось в 7 разів, що свідчить про підвищення вірогідності класифікації.

Таблиця 3. Дистанції гістограм змодельованих об'єктів.

Об'єкти	Одного класу		Різних класів			
	1 і 2	3 і 4	1 і 3	1 і 4	2 і 3	2 і 4
d , мТл (11)	25	26	78	78	89	89
$d_{\text{норм}}$, мТл (15)	2	0,3	46	45	44	43

Окрім кількісного контролю магнітних параметрів документів залишається актуальним і якісний експертний трасологічний контроль, якість якого в тому числі визначається чутливістю та роздільною здатністю МОТС. Тому створено особливу методику оцінки чутливості і роздільної здатності, за якою можна оцінити придатність системи для трасологічного дослідження.

Визначено, що чутливість телевізійної системи контролю документів визначається мінімальним розміром окремого елементу документу, а роздільна здатність — мінімальними розмірами і відстанню сусідніх елементів, які виявляються або розрізняються системою при заданому співвідношенні сигнал/шум. Визначення амплітуд сигналів і шумів ґрунтується на сегментації зображень тест-об'єктів на підставі апіорних знань про властивості (наявності/відсутності сигналу) у різних його областях.

Вихідними даними для кількісної оцінки амплітуд сигналів і шумів виступають двомірні матриці відносної (0 – 255 у. о.) яскравості $A(i, j)$ точок МО зображень, дискретизованих ДТС. На практиці введення $A(i, j)$ виконується

фарби але з різним заповненням контрольованої площини магнітним матеріалом, об'єкт 3 та об'єкт 4 — з іншої фарби та протилежним попереднім намагнічуванням (рис. 6).

З таблиці 3 видно суттєве зменшення дистанцій гістограм для об'єктів одного класу, при застосуванні нормалізації, що позитивно впливає на вірогідність похибки першого роду при класифікації документів. При чому відношення максимальної дистанції між гістограмами об'єктів

n разів з подальшим усередненням (16), а кінцеве зображення (17) формується як відхилення яскравості точок зображення в присутності об'єкта контролю $\bar{A}(i, j)$ від яскравості точок за його відсутності $\bar{A}_\Phi(i, j)$.

$$\bar{A}(i, j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n A_k(i, j). \quad (16)$$

$$\Delta \bar{A}(i, j) = \bar{A}(i, j) - \bar{A}_\Phi(i, j) + 128. \quad (17)$$

Тому потужності сигналів і шумів обчислюються, як СКВ яскравості зображень в присутності об'єкта контролю та за його відсутності для відповідних сигнальних ("С") та шумових ("Ш") сегментів (18), (19), а їх співвідношення — як (20)

$$P_{\text{Ш}} = \frac{1}{I_{\text{Ш}} J_{\text{Ш}}} \sum_{i \in \text{Ш}} \sum_{j \in \text{Ш}} [\bar{A}(i, j) - \bar{A}_\Phi(i, j)]^2. \quad (18)$$

$$P_{\text{С}} = \frac{1}{I_{\text{С}} J_{\text{С}}} \sum_{i \in \text{С}} \sum_{j \in \text{С}} [\bar{A}(i, j) - \bar{A}_\Phi(i, j)]^2 - P_{\text{Ш}}. \quad (19)$$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \lg(P_{\text{С}}/P_{\text{Ш}}). \quad (20)$$

Характерні особливості розподілу нормальної складової напруженості магнітного поля H^n вздовж прямих, що перетинають два сусідні дефекти (21) дають змогу визначити границі сегменту сигналу роздільної здатності, як показано на рис. 7. ($i \in [i_{\text{с min}}; i_{\text{с max}}]$), якщо внутрішні екстремуми $A_{\text{розп}}$ більше $A_{\text{ш}}$.

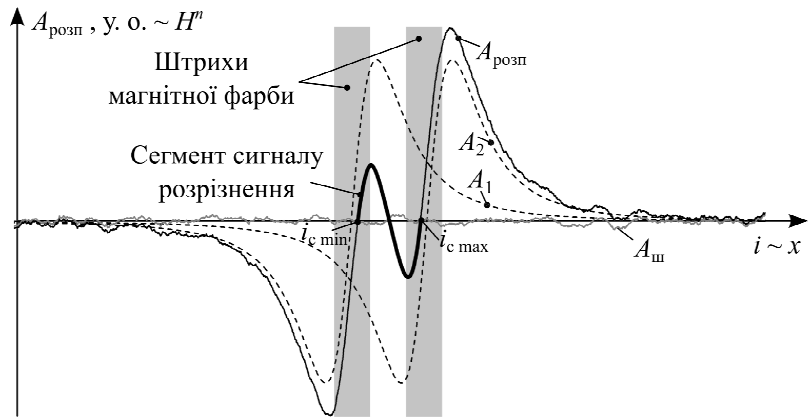


Рис. 7. Теоретичний просторовий розподіл яскравості МО зображення двох штрихів магнітної фарби та визначення границь сегменту сигналу їх розрізнення.

$$H^n(x) \sim A_{\text{розп}}(i) = \frac{1}{J} \sum_j [\bar{A}(i, j) - \bar{A}_\Phi(i, j)] = A_1(i) + A_2(i) + A_{\text{ш}}(i). \quad (21)$$

Отже, при застосуванні тест-об'єктів з геометричними розмірами, які відповідають характеристикам типових об'єктів контролю телевізійної системи можна визначити її придатність до трасологічного контролю таких об'єктів.

У четвертому розділі описано технічні рішення, покладені в основу створення експериментального устаткування і розроблених пристроїв, виконано експериментальні дослідження та оцінка технічних характеристик розроблених МОТС, у тому числі виконано оцінку чутливості та роздільної здатності системи, проведено порівняльні випробування з традиційними засобами контролю, наведено результати їх дослідної експлуатації і впровадження.

На основі запропонованого методу розроблено МОТС кількісного контролю магнітних параметрів документів, структурна схема якої подана на рис. 8. Джерело магнітного поля компенсації виконано у вигляді плоскої багатовиткової котушки індуктивності, живлення якої виконується спеціально розробленим частотним регулятором струму реактивного навантаження, яке забезпечує 32 рівні квантування амплітуд магнітного поля в діапазоні $-2.8 \leq B_{\text{комп}} \leq 2,8$ мТл, градуйовані з застосуванням магнітометра Ш1-8. Керування приладом виконується за допомогою спеціального ПЗ, що виконує візуалізацію, кількісну оцінку та порівняння полів розсіяння документів за запропонованими методами.



Рис. 8. Структурна схема МОТС контролю документів.

Результати експериментального дослідження виявлення фальсифікації банкнот (рис. 9 — \$1, рис. 10 — €5) підтверджують суттєве покращення їх аутентифікації з використанням запропонованого методу.

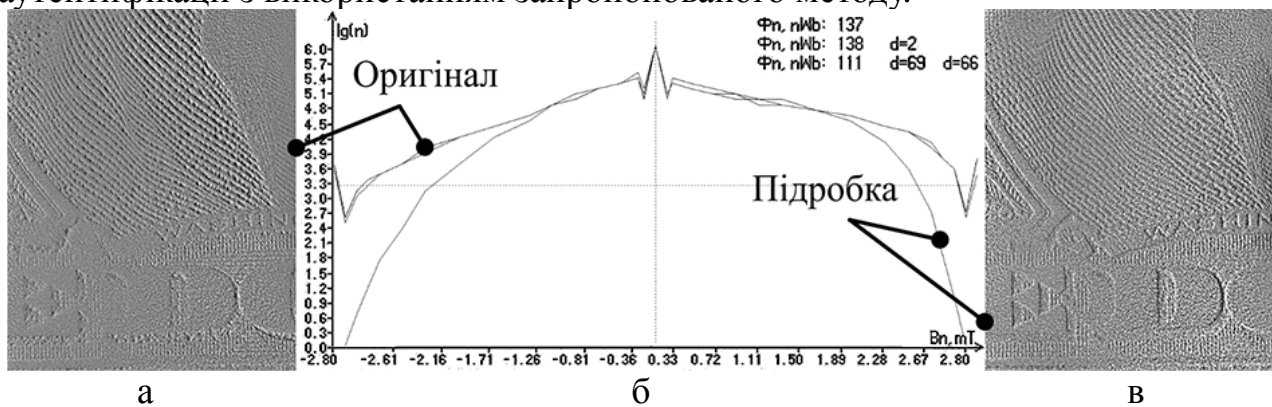


Рис. 9. Виявлення фальсифікації магнітотвердої фарби \$1.

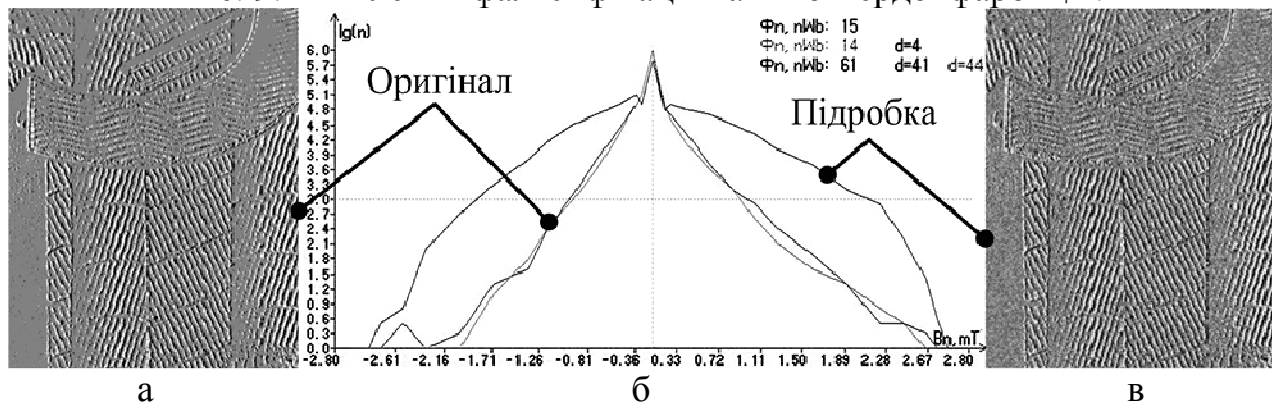


Рис. 10. Виявлення фальсифікації магнітом'якої фарби €5.

Так при якісному дослідженні відомими методом тільки за зображенням магнітного захисту (рис. 9, а, в; рис. 10, а, в) не можливо відрізнити оригінал від підrobки через тотожність розміщення магнітних складових. У той же час кількісна оцінка розподілу магнітної індукції, побудова і порівняння його гістограм дає можливість впевнено визначити фальсифікований документ. Так показник дистанції d (11) гістограм оригінальних банкнот знаходиться в межах 2 – 4 од., а для пар оригінал-фальшивка — 41 – 69 од.

Для оцінки впливу попереднього намагнічування на результат порівняння одного і того ж натурального об'єкту (банкнота \$1) двічі виконано кількісну оцінку розподілу магнітної індукції, при чому перед її виконанням об'єкт нормально намагнічувався в протилежних напрямках додатковим джерелом магнітного поля (рис. 11). Дистанція d між вихідними гістограмами вкрай висока, щоб віднести результати кількісної оцінки до одного класу об'єктів, не дивлячись на те, що досліджувалась одна і та ж область однієї банкноти тільки з протилежною намагніченістю. Після апроксимації і нормалізації за узагальненим методом (14) показник d (15) знижується більше ніж в десять разів (в ідеалі $d \rightarrow 0$).

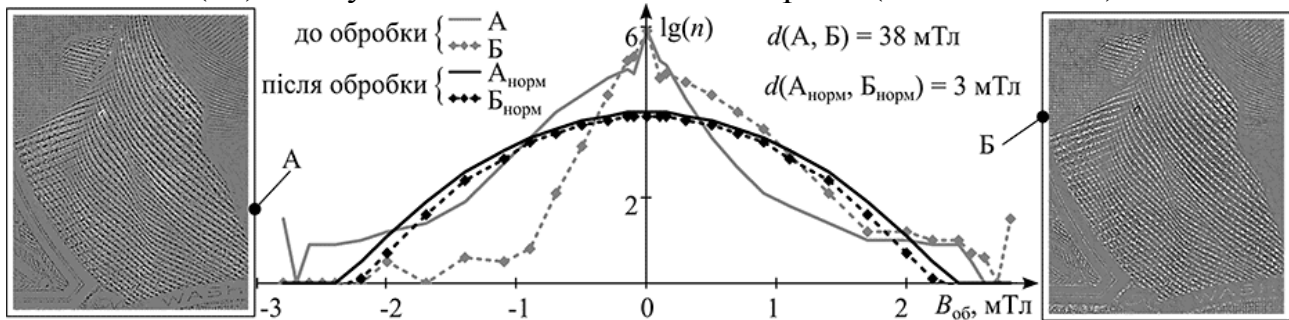


Рис. 11. Апроксимація та нормалізація гістограм одного об'єкту у випадку зустрічного намагнічування.

Для оцінки впливу нерівномірності заповнення контрольованої області виготовлено тест-об'єкт — сторінку магнітного друку побутовим принтером, на якій проведено кількісні оцінки для двох областей: А — область з високою густиною друку та область Б — з низькою (рис. 12). З виконанням апроксимації та нормалізації дистанція гістограм d зменшується від 16 до 0 мТл., що дає можливість говорити про значну спорідненість магнітних властивостей областей А і Б, яка і була закладена в тест-об'єкті.

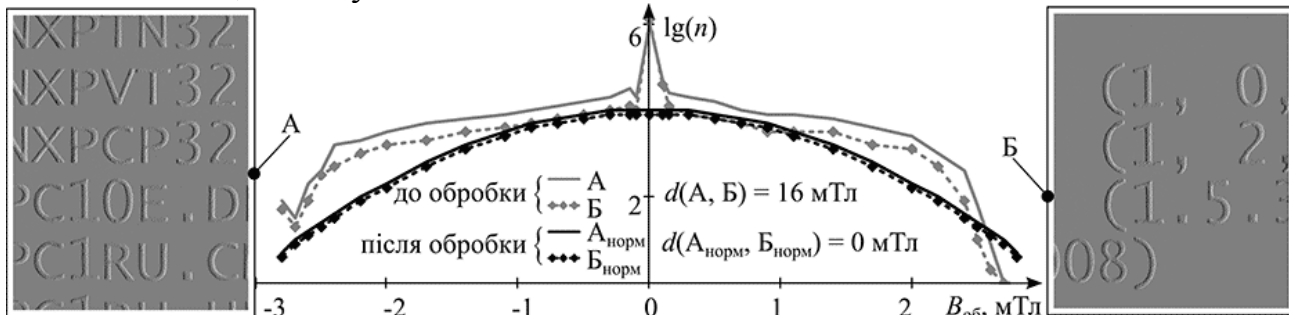


Рис. 12. Апроксимація та нормалізація гістограм одного об'єкту у випадку різної густини друку.

Таким чином експериментальне дослідження апроксимації і нормалізації доводить її позитивний вплив на вірогідність контролю документів з різною попередньою намагніченістю та різною густиною магнітного рисунку, оскільки їх застосування дозволяє знизити дистанції гістограм d для одних і тих самих документів, а отже і знизити вірогідність похибки першого роду при дослідженні документів розробленим методом.

Для експериментального дослідження чутливості та роздільної здатності розробленої телевізійної системи магнітооптичного контролю документів за запропонованою методикою було спроектовано і виготовлено тест-об'єкт рис. 13 (а), який представляє собою паперовий носій з магнітотвердим друком

штрихів з характерними для трасологічних досліджень документів розмірами, та виконано сегментацію його МО зображення рис. 13 (б). Сегмент шуму “Ш” визначається областю з апіорі відсутнім сигналом. Сегменти сигналу чутливості “С_ч1 – С_ч6” визначено за областями одинарних штрихів. Сегменти сигналу роздільної здатності “С_р2 – С_р6” визначено запропонованим способом (рис. 7). Визначення границь сегменту “С_р1” технічно неможливе, оскільки екстремуми внутрішніх крайок штрихів в світловому розподілі (21) взаємовіднімаються.

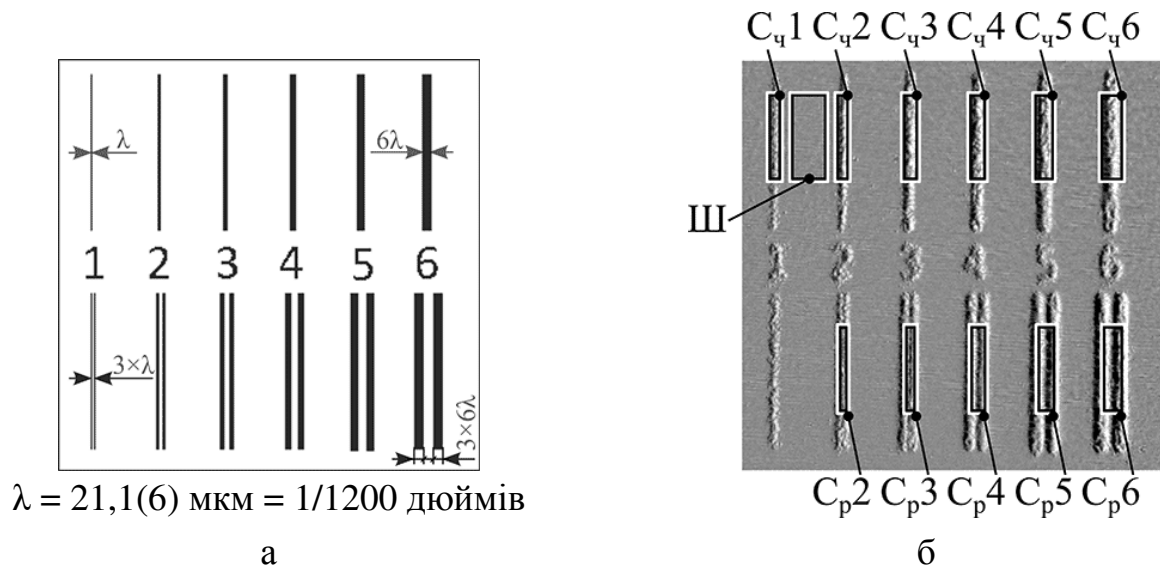


Рис. 13. Тест-об’єкт (а) та сегментація його МО зображення (б) для визначення чутливості і роздільної здатності контролю магнітного захисту документів.

Після оцінки потужності сигналів і шуму відповідних сегментів (18, 19) визначено, що чутливість розробленої МОТС дозволяє впевнено детектувати найменший штрих магнітотвердої фарби шириною 21 мкм при відношенні сигнал/шум 6,5 дБ та розрізняти штрихи на відстані 42 мкм зі співвідношенням сигнал/шум 6 дБ, що перевищує прийнятий поріг 3 дБ. Отже дана телевізійна система придатна не тільки для кількісного контролю, а і для експертного топологічного та трасологічного контролю, таким чином забезпечуючи комплексність магнітного дослідження документів одним засобом, що здешевлює витрати на обладнання для аутентифікації документів.

З метою визначення ефективності запропонованого методу кількісного контролю магнітних параметрів документів проведено експериментальне дослідження вірогідності правильної ідентифікації зразків принтерного друку. Її необхідність визначається практичною задачею виявлення фальсифікації документів, виконану шляхом додрукування або передрукування сторінок. Вірогідність правильного визначення друку іншим принтером (додрукування) визначається відношенням кількості правильно визначених за результатом експерименту зразків, надрукованих іншим принтером до загальної кількості зразків, надрукованих іншим принтером.

За відомим якісним методом для зразків магнітного друку вірогідність складає лише 22 %, оскільки з 10 контрольованих документів лише 2 зразки “грубо фальсифіковані” немагнітними фарбами (рис. 14, в), а зразки з магнітним друком не відрізняються за магнітооптичним зображенням і тому помилково вважаються надрукованими одним принтером (рис. 14, а, б).

При кількісному контролі запропонованим методом для кожної сторінки з магнітним друком отримано по парі гістограм розподілу магнітної індукції, після чого виконано попарне порівняння 16 вихідних гістограм між собою, а також попарне порівняння 16 апроксимованих та нормалізованих гістограм. Критерієм ідентичності гістограм, як і документів, що їм відповідають, служить величина дистанції d . Поріг критерію d обирається в процесі порівняння таким чином, щоб запобігти виникненню похибок першого роду. Оцінка вірогідності правильної ідентифікації зразків принтерного друку представлена на рис. 15.



Рис. 14. Магнітооптичне зображення документів, надрукованих принтерами з магнітною фарбою HP LaserJet 1010 (а) і HP Deskjet 2050 (б), та немагнітною фарбою HP LaserJet CP 1025 (в)

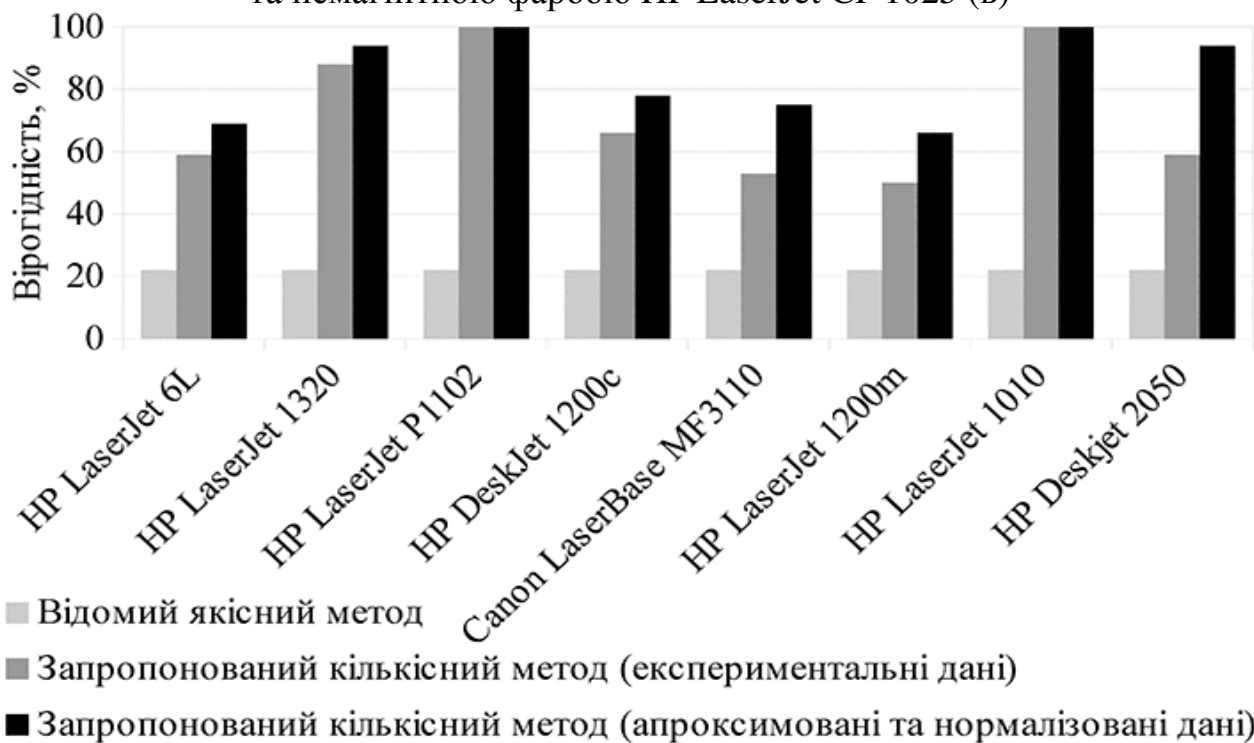


Рис. 15. Вірогідність правильної ідентифікації зразків принтерного друку.

При порівнянні за запропонованим методом для вихідних даних вірогідність приймає значення 50 – 100 %, а для апроксимованих та нормалізованих — 66 – 100 %, при чому для всіх зразків документів застосування запропонованого способу обробки гістограм покращує результат оцінки вірогідності, що пов'язано зі зменшенням d “своїх” гістограм, як і очікувалось з теоретичного дослідження. Отже розроблений метод кількісного магнітооптичного контролю документів, на відміну від відомих якісних дає змогу класифікувати зразки принтерного друку фарбами з магнітними властивостями, та виявляти фальсифікацію документів, виконану додрукуванням або переддрукуванням сторінок.

Розроблений метод кількісного контролю магнітних параметрів документів використано при проектуванні та втілено в конструкції в магнітооптичних телевізійних систем контролю “Регула 4197” (малогабаритний ручний сканер на рис. 16, а) та в автоматизованому 2-координатному планшетному сканері “Регула 7701М” (рис. 15, б), що підтверджується відповідним актом впровадження.

Обидва пристрої, модернізовані за результатами даної роботи, отримали нову виняткову функцію — магнітні вимірювання, яка вирізняє їх серед інших на ринку пристроїв подібного типу. Нова функція магнітних вимірювань дозволяє отримувати для досліджуваних областей документів: 1) наочне представлення розподілу магнітної індукції у вигляді МО зображення; 2) гістограми розподілу магнітної індукції; 3) модулі нормальної складової магнітного потоку; 4) апроксимовані та нормалізовані гістограми магнітної індукції; 5) об’єктивне порівняння документів для їх класифікації.



а — “Регула 4197”



б — “Регула 7701М”

Рис. 16. Зовнішній вигляд приладів, в яких реалізовано результати роботи.

Програмно-апаратні комплекси “Регула 4197” та “Регула 7701М” на відміну від відомих аналогів забезпечують можливість комплексного (більш вірогідного) дослідження як топологічних (якісний контроль) так і топографічних (кількісний контроль) властивостей магнітних елементів документів, тому вони впроваджені в установах більш ніж 40 країн світу, у тому числі Національному банку Королівства Нідерланди та Штаб-квартирі Європолу у Гаазі, використовуються в новітній методиці криміналістичних досліджень об’єктів магнітного друку, а також при створенні електронної Інформаційно-довідкової системи “Currency”, в якій зразки вимірювань магнітних параметрів банкнот світу отримуються зазначеними пристроями.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна наукова задача, що полягає в розробці магнітооптичної телевізійної системи кількісного контролю магнітних параметрів документів, яка дозволяє підвищити вірогідність їх контролю. Основні наукові та практичні результати полягають в наступному:

1. Розроблено магнітооптичну телевізійну систему, яка за рахунок систем формування і компенсації двовимірного розподілу розсіяного магнітного поля елементів документа та виконання цифрової автоматизованої обробки магніто-

оптичних зображень дозволяє, на відміну від відомих, виконувати кількісний контроль магнітних параметрів документів, що забезпечує підвищення вірогідності їх контролю.

2. Розроблено узагальнений метод кількісного контролю магнітних параметрів документів, що полягає в побудові гістограм двовимірного розподілу магнітної індукції, їх апроксимації, нормалізації та порівнянні та дозволяє класифікувати зразки магнітного друку зі зниженим впливом шумів магнітооптичного перетворення, чутливістю до зміни параметрів намагнічування та неоднорідностей щільності друку документів на імовірність виникнення похибок першого роду.

3. Удосконалено метод магнітооптичного топографування введенням джерела магнітного поля та сумісної обробки магнітооптичних зображень телевізійною системою, що забезпечує отримання сигналу двовимірного розподілу розсіяного магнітного поля елементів документа у матричній цифровій формі.

4. Вперше розроблено математичну модель взаємодії магнітооптичного перетворювача з розсіяним магнітним полем дисперсних феромагнетиків та магнітним полем каліброваного джерела компенсації. Визначено, що струм джерела компенсації визначає індукцію магнітного поля документу у врівноважених областях магнітооптичного перетворювача, що дозволяє виконувати кількісну оцінку двовимірного розподілу індукції магнітного поля документу.

5. Запропоновано методику оцінки чутливості та роздільної здатності оснований на дослідженні зображень магнітооптичної системи під дією тест-об'єкта з заданим просторовим положенням сигнальних та шумових сегментів, що дозволяє визначати граничні розміри зразка магнітного друку, які здатна відтворити магнітооптична телевізійна система при заданому співвідношенні сигнал/шум.

6. Експериментально встановлено, що для розглянутого тестового об'єкта документу чутливість розробленого засобу магнітного контролю дає можливість реєструвати штрихи магнітної фарби шириною від 21 мкм при співвідношенні сигнал/шум не менше 6,5 дБ. Роздільна здатність засобу забезпечує розрізнення окремих штрихів магнітної фарби на відстані 42 мкм зі співвідношенням сигнал/шум 6 дБ. Що задовольняє вимоги трасологічного контролю. Тому з додаванням кількісної магнітної оцінки магнітооптична телевізійна система зберігає можливість якісної експертної оцінки і забезпечує комплексний магнітний контроль документів.

7. Експериментально встановлено, що для розглянутих зразків магнітного друку побутовими принтерами розроблена МОТС забезпечує вірогідність коректного розпізнання додрукування іншим принтером від 50 % до 100 % для вихідних даних та від 66 % до 100 % для апроксимованих та нормалізованих. У той час, як без застосування кількісного контролю така вірогідність становить лише 22 %.

8. Експериментально підтверджено можливість виявлення фальсифікації магнітного захисту розглянутих зразків банкнот розробленим засобом за рахунок використання запропонованого методу контролю магнітних параметрів у той час, коли порівняння банкнот відомих якісним методом не дає такої можливості через тотожність топології їх магнітних компонентів.

9. Наукові та практичні результати впроваджено в: 1) МОТС комплексного контролю магнітних параметрів документів “Регула 4197” та “Регула 7701М”, які серійно виготовляються та успішно експлуатуються експертами-криміналістами в установах більш ніж 40 країн світу, у тому числі Національному банку Королівства Нідерланди та Штаб-квартирі Європолу у Гаазі; 2) новітній методиці криміналістичних досліджень об’єктів магнітного друку на інструментальній основі зазначених МОТС; 3) електронній Інформаційно-довідковій системі “Currency”, в якій зразки вимірювань магнітних параметрів банкнот світу отримані зазначеними МОТС.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Agalidi Y. Eddy current fields/magnetic recording/magneto-optic imaging NDI method. / Agalidi Y, Kozhukhar P, Levyi S, Rogozhinsky Y, Shumsky I. // Nondestruct Test Eval. 2012; 27(2): 109–119 (іноземне видання).

2. Agalidi Y, Enhanced magneto-optical imaging of internal stresses in the removed surface layer. / Agalidi Y, Kozhukhar P, Levyi S, Turbin D. // Nondestruct Test Eval. 2015; 30(4): 347 – 355 (іноземне видання).

3. Agalidi Yu. S. Study of Inducted Magnetic Scattering Fields of Thin-Film Dispersive Ferromagnetics / Agalidi Yu. S., Kozhuhar' P. V., Lievyi S. V., Machnev A. M., Ponomarev S. L. // Radioelectronics and Communications Systems, 2012, Volume 55, Number 15, p. 204 – 212 (включено до міжнародних наукометричних баз Scopus та Inspec).

4. Агалиди Ю. С. Неразрушающий контроль элементов магнитной защиты документов. / Агалиди Ю. С., Кожухарь П. В., Левый С. В., Мачнев О. М., Пономарев С. Л. // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія: приладобудування. — 2009, Випуск 38. — с. 43 – 50.

5. Агалиди Ю. С. Исследование индуцированных магнитных полей рассеяния тонкопленочных дисперсных ферромагнетиков. / Агалиди Ю. С., Кожухарь П. В., Левый С. В., Мачнев А. М., Пономарев С. Л. // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. — 2012. — Том 55, № 5. — с. 17 – 27.

6. Агаліді Ю. С. Математична модель процесу частотного управління струмом реактивного навантаження. / Агаліді Ю. С., Кожухар П. В. // Вісник НТУУ “КПІ” Серія — Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2011. — Вип. 45. — с. 145 – 152.

7. Кожухар П. В., Оцінка чутливості і роздільної здатності контролю магнітного захисту документів магнітооптичною телевізійною системою. // Вісник НТУУ “КПІ” Серія — Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2013. — Вип. 53. — с. 126–136.

8. Патент на корисну модель (Україна) №41527 від 25.05.2009 р., Бюл. №10, G11В 5/02: Спосіб керування струмом реактивного навантаження. Заявник патенту: НТУУ “КПІ”. По заявці у 2008 14918, від 24.12.2008 р. Пріоритет від 25.05.2009 р. Автори винаходу: Агаліді Ю. С., Кожухар П. В., Лебеда Д. В., Левий С. В., Мачнев О. М.

9. Левый С. В. Неразрушающий контроль элементов магнитной защиты документов / Левый С. В., Агалиди Ю. С., Мачнев А. М., Пономарев С. Л., Ко-

жухарь П. В. // Тези доповіді IV Міжнародної науково-практичної конференції “Спеціальна техніка у правоохоронній діяльності”. — Україна, Київ, 2009.

10. Agalidi Y. S. Experimental investigations of magnetic characteristics of document magnetic protection on the basis of dispersed ferromagnets / Agalidi Y. S., Kozhuhar P. V., Levyi S. V., Machnyev O. M., Ponomarev S. L. // International Conf. “Functional Materials” ICFM — Ukraine, Crimea, Partenit, 2011. — p. 190.

11. Кожухар П. В. Оцінка чутливості і роздільної здатності контролю магнітного захисту документів магнітооптичною телевізійною системою. // Міжнародна науково-технічна конференція “Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи”. Київ, 11 – 15 березня 2013 р.: матеріали конференції — Київ, 2013. — с. 134–135.

12. Agalidi Y. S. The normalization of magneto-optic measurements of magnetic characteristics of printing materials / Agalidi Y. S., Kozhuhar P. V., Levyi S. V., Machnyev O. M., Ponomarev S. L. // International Conf. “Functional Materials” ICFM — Ukraine, Crimea, Partenit, 2013. — p. 211.

АНОТАЦІЯ

Кожухар П. В. Кількісний контроль магнітних параметрів документів магнітооптичною телевізійною системою. — рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 — Радіотехнічні та телевізійні системи. Національний технічний університет України “КПІ”, Київ — 2016.

В дисертаційній роботі розроблено магнітооптичну телевізійну систему, яка на відміну від відомих, дозволяє окрім якісного виконувати кількісний магнітний контроль документів. Розроблено узагальнений метод кількісного контролю магнітних параметрів документів, що дозволяє їх класифікацію зі зниженим впливом шумів магнітооптичного перетворення, чутливістю до зміни параметрів намагнічування та неоднорідностей щільності друку. Удосконалено метод магнітооптичного топографування, що дозволяє отримувати сигнал двовимірного розподілу розсіяного магнітного поля елементів документів у матричній цифровій формі. Запропоновано методику оцінки чутливості і роздільної здатності телевізійної системи магнітооптичного контролю. Виконано комплексне експериментальне дослідження теоретичних напрацювань. Розроблені методи дозволяють підвищити вірогідність магнітного контролю (виявлення фальсифікації) документів, як виготовлених промислових методом (банкноти та захищені бланки) так і загально доступним (друк побутовою оргтехнікою) за рахунок виконання кількісного контролю їх магнітних параметрів. При цьому телевізійні системи, що реалізують запропоновані методи зберігають можливість якісного топологічного та трасологічного дослідження, тобто на відміну від відомих забезпечують комплексний магнітний контроль документів.

Ключові слова: телевізійна система, магнітооптичне перетворення, вимірювання параметрів сигналів, компенсаційний метод вимірювання, цифрові методи обробки інформації, чутливість, роздільна здатність.

АННОТАЦИЯ

Кожухарь П. В. Количественный контроль магнитных параметров документов магнитооптической телевизионной системой. — рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 — Радиотехнические и телевизионные системы. Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев — 2016.

В диссертационной работе разработана магнитооптическая телевизионная система, которая в отличие от известных, позволяет помимо качественного выполнять количественный магнитный контроль документов. Разработан обобщенный метод количественного контроля магнитных параметров документов, который позволяет их классификацию со сниженным влиянием шумов магнитооптического преобразования, чувствительностью к изменению параметров намагничивания и неоднородностей плотности печати. Усовершенствован метод магнитооптического топографирования, что позволяет получать сигнал двумерного распределения рассеянного магнитного поля документов в матричной цифровой форме. Предложена методика оценки чувствительности и разрешающей способности телевизионной системы магнитооптического контроля. Проведено комплексное экспериментальное исследование теоретических работ. Разработанные методы позволяют повысить достоверность магнитного контроля (выявления фальсификации) документов, как изготовленных промышленным методом (банкноты и защищенные бланки) так и общедоступным (печать бытовой оргтехники) за счет выполнения количественного контроля их магнитных параметров. При этом телевизионные системы, реализующие предложенные методы, сохраняют возможность качественного топологического и трасологического исследования, т. е. в отличие от известных обеспечивают комплексный магнитный контроль документов.

Ключевые слова: телевизионная система, магнитооптическое преобразование, измерение параметров сигналов, компенсационный метод измерения, цифровые методы обработки информации, чувствительность, разрешающая способность.

SUMMARY

Kozhukhar P. V. Quantitative control of magnetic parameters of documents by means of magneto-optic TV systems. — manuscript.

The dissertation on the receipt of the scientific degree of candidate of tech sciences after speciality 05.12.17 — Radio engineering and TV systems. National Technical University of Ukraine “KPI”, Kyiv — 2016.

The magnetic control of documents (including banknotes and protected blanks) is used at its production, banking and forensic research. Present devices divide into two groups. First ones are using a stock of huge induction or Hall sensors and performing only quantitative magnetic control with low resolution. Second ones are using magneto-optic sensors, which allows doing qualitative magnetic control with high resolution but could not perform quantitative control due to low dynamic range.

The dissertation covers developing of TV system intended for quantitative control of magnetic parameters of documents using magneto-optic sensor, which

have not implemented. It allows increasing the accuracy of magnetic control of documents due to providing integrated (quantitative and qualitative) magnetic control with high resolution and using only one sensor. Developed generalized method of quantitative control of magnetic parameters of documents allows its classification with decreased effect of magneto-optic noise and sensitivity to changing of magnetization and print density. This method involves getting a two-dimensional distribution of the signal of scattered magnetic field of documents in matrix digital form perhaps improved method of magneto-optical topography with auxiliary magnetic field source and coprocessing of magneto-optic images by TV system. Thus, documents spatial distribution of magnetic flux density is obtained in suitable for digital automated signal processing form. The next steps are calculating histograms of magnetic field of reference and controlled documents; approximation and normalization of this histograms; pairwise comparison of normalized histograms by proposed qualitative index of dissimilarity and making check solution about a membership of controlled document at reference group. All these steps are performed automatically by TV system so the method allows decreasing expenditure of time during magnetic control of documents. In addition there is suggested the procedure of evaluating the sensitivity and resolution of the TV system for the magneto-optic check. It consist in SNR evaluation of magneto-optic image of test document sample with known signal and no-signal areas.

A comprehensive experimental study of the theoretical developments is passed. Developed magneto-optical TV system allows detecting reprinting of document by another printer with accuracy 50 – 100% (for examined printing samples) at the expense of proposed qualitative control. There is proved for examined banknote samples a capability to detect a falsification of banknotes magnetic protection by developed system even if present (qualitative-only) magneto-optic detectors cannot detect falsification due to same topology of magnetic print. The sensitivity and resolution of developed TV system allows detection of magnetic paint strokes 21 μm width and resolution of strokes with width and spaced by 42 μm with SNR not less than 6 dB. Thus, developed methods allow to increase the accuracy of magnetic control (detection of falsification) of documents through the implementation of the quantitative control of their magnetic parameters, both for documents manufactured by industry (banknotes and protected forms) and made in publicly available way (print by office equipment). Herewith television systems implementing the method, retain the ability to qualitative documents research like topological and trasological, i. e. in contrast to known provide an integrated magnetic control of documents. That's why scientific and practical results are implemented magneto-optic TV systems Regula 4197 and Regula 7701M, modern methodology of forensic research of magnetic print and digital help-desk system "Currensy", which contains samples of magnetic parameters of world banknotes made by indicated above TV systems.

Keywords: TV system, magneto-optical conversion, measurement of signal characteristics, the compensation method of measurement, digital methods of information processing, sensitivity, resolution.