

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

На правах рукопису

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

Науковий керівник

к. т. н., с. н. с. Агаліді Ю. С.

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ — 2016

ЗМІСТ

Перелік скорочень	4
Вступ.....	5
1 Стан проблеми дослідження та вибір методів її вирішення	11
1.1 Галузі застосування, параметри і засоби контролю документів	11
1.2 Відомі схеми побудови та характеристики засобів контролю магнітних параметрів документів.....	18
1.3 Огляд методів вимірювання магнітних параметрів.....	24
1.4 Вибір напрямків досліджень.....	36
Висновки до першого розділу.....	39
2. Вимірювання магнітних параметрів документів з використанням магнітооптичної телевізійної системи	41
2.1 Аналіз телевізійної системи магнітооптичного перетворення.....	41
2.2 Математична модель взаємодії МО перетворювача з розсіяним магнітним полем дисперсних феромагнетиків та магнітним полем джерела компенсації.....	43
2.3 Удосконалений метод магнітооптичного топографування, що забезпечує отримання сигналу двовимірного розподілу розсіяного магнітного поля елементів документа у матричній цифровій формі.	52
Висновки до другого розділу	57
3. Обробка даних магнітооптичною телевізійною системою кількісного контролю магнітних параметрів документів	59
3.1 Класифікація двовимірних розподілів магнітного поля документів для забезпечення їх кількісного контролю.....	59
3.2 Узагальнений метод кількісного контролю магнітних параметрів документів, оснований на побудові і порівнянні гістограм розподілу магнітної індукції.	68
3.3 Методика оцінки чутливості і роздільної здатності магнітооптичної телевізійної системи	75
Висновки до третього розділу	82

4. Експериментальне дослідження магнітооптичної телевізійної системи контролю магнітних параметрів документів	84
4.1 Магнітооптична телевізійна система контролю магнітних параметрів документів.....	84
4.2 Експериментальне дослідження виявлення фальсифікації банкнот	87
4.3 Експериментальне дослідження впливу апроксимації та нормалізації на вірогідність класифікації документів.....	91
4.4 Експериментальне дослідження чутливості та роздільної здатності	94
4.5 Експериментальне дослідження ідентифікації принтерного друку	99
4.6 Результати дослідної експлуатації і впровадження	104
Висновки до четвертого розділу.....	107
Висновки	109
Перелік використаних джерел	114
Додаток	123
Акт впровадження.....	123

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЛРН — лінії рівної напруженості

МО — магнітооптичний

МОВ — магнітооптична візуалізація

МОП — магнітооптичний перетворювач

МОТС — магнітооптична телевізійна система

ПЗ – програмне забезпечення

ПК – персональний комп’ютер

СКВ — середньоквадратичне відхилення

ВСТУП

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 ферромагнітних 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 магніто-оптичного 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 магніто-оптичних 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 “Currency”, 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 [3, 4] представлені результати розробки засобів неруйнівного контролю, що забезпечують магнітооптичну візуалізацію елементів магнітного захисту документів і оцінку їх магнітних властивостей, проведено відносну оцінку чутливості і роздільної здатності цих засобів; в [5 – 7] 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 [8] виконано моделювання запатентованого [9] способу частотного управління струмом реактивного навантаження, за допомогою якого виконується живлення компенсаційного джерела магнітного поля в запропонованому методі вимірювання магнітних параметрів документів; в [10, 11] формалізовано поняття чутливості і роздільної здатності магнітооптичної телевізійної системи, розроблено методику їх оцінки, що ґрунтується на кількісній оцінці сигналів і шумів зображення, отри-

мано 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 [6], 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.

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

1 СТАН ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИБІР МЕТОДІВ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

1.1 Галузі застосування, параметри і засоби контролю документів

Під поняттям “документ” у широкому сенсі розуміють предмет, що містить інформацію в зафіксованому вигляді і спеціально призначений для її передачі у часі і просторі з метою зберігання і загального користування. Згідно цього визначення документами називають: договори, що встановлюють права власності, права і обов’язки їх сторін у т. ч. заповіти, фіскальні чеки, накладні, паспорти, дипломи та ін. посвідчення, довідки, рецепти, лотерейні, залізничні та ін. білети, цінні папери та грошові знаки.

Останнім часом спостерігається зростання економічної злочинності, що супроводжується підробкою документів: виготовлення грошових знаків, акцизних марок, фальсифікація документів, що встановлюють права власності, або легалізують незаконну діяльність. Спеціалісти відмічають [13] інтелектуалізацію кримінального середовища, тобто втягування до злочинних угруповань суб’єктів широко обізнаних в області науки і техніки. Цей факт сприяє поліпшенню якості підробок і, як наслідок, значно ускладнює технічну експертизу документів, без якої неможливо сформувати доказову базу, без якої, у свою чергу, знижується ефективність законів, що сприяє росту злочинності, пов’язаної з підробкою документів.

Контроль документів застосовують з метою забезпечення їх якості або з’ясування їх автентичності в наступних галузях:

1. виробництво документів встановленого зразка;
2. банківська справа;
3. криміналістика.

Контроль документів встановленого зразка на етапі їх виготовлення застосовується для забезпечення сталості їх властивостей і, як наслідок, зниження вірогідності помилок першого роду під час їх подальшої експертизи (хибного визначення підробкою справжнього документу). Деякі документи,

наприклад банкноти, виготовляють зі спеціальними властивостями, що утруднює їх несанкціоноване тиражування і модифікацію. Під час автентифікації стандартизовані властивості досліджуваного документу порівнюють з властивостями еталонного документу. Цими властивостями можуть бути: форма, розміри, хімічний склад бланку (основи або підкладки) документу, наявність елементів технологічного, поліграфічного та фізико-хімічного захисту і їх характеристики.

Контроль документів у банківській справі застосовується для зниження вірогідності помилок другого роду під час виконання банківських операцій (хибного прийняття фальсифікованого документу за справжній). Ще від початку виникнення товарно-грошових відносин спостерігається “тонка озброєнь” технічного оснащення фальсифікаторів і виробників легальних цінних паперів і грошових знаків, яка значно вплинула на вигляд сучасних грошей. Сьогодні банкноти володіють такою кількістю ступенів захисту, яка ускладнює не тільки їх виробництво, а і контроль оригінальності. Це і водяні знаки, і спеціальний папір, різноманітні захисні волокна і голограми, магнітні стрічки, спеціальні види поліграфічного друку, фотохромні, люмінесцентні та магнітні фарби. Дослідження документів в банківській справі застосовуються лише для з’ясування їх автентичності та виявлення підробок, усі супутні питання, такі як походження підробки, канали збуту, відповідальність за виготовлення і розповсюдження вирішуються судовою системою, звідки і впливає ще одна галузь контролю.

Застосування контролю документів в криміналістиці з метою їх технічної експертизи вирізняється широкою номенклатурою об’єктів контролю. Однією з задач технічної експертизи є контроль оригінальності документу (його належності певному класу об’єктів), що полягає в його інструментальному дослідженні — порівнянні контрольних даних з еталонними (отриманими від апріорно справжніх документів, інколи лише від справжніх фрагментів документу) і прийняття контрольного рішення. При цьому в банківській справі, зазвичай, достатньо бінарного рішення типу “оригінал/підробка”. У той же час

в криміналістиці експертний висновок має бути аргументованим, наприклад: “досліджуваний зразок є підробкою, тому що спостерігаються відхилення його параметрів від оригінального зразка, що полягають у ...”, або “підробка виготовлена з використанням технології ... , про що свідчить ...”. На технічну експертизу можуть бути поставленими питання: яким способом друку виготовлений документ, чи на одному пристрої виготовлено документ, чи виконувався друк в один прийом, або якась частина додрукована пізніше [14].

Незалежно від галузі контроль документів виконують дослідженням певної групи їх параметрів (властивостей), кількість яких обмежуються оптимальними затратами часу і грошей. Деякі параметри, наприклад наявність водяних знаків, можуть контролюватись органолептично (здебільшого, візуально оптичними та тактильними методами), деякі — потребують застосування спеціальних засобів контролю, наприклад світіння ультрафіолетової позначки.

Параметри контролю документів можна умовно розділити на дві групи:

1. Параметри, що визначаються спеціальним захистом документу
2. Інші фізико-хімічні властивості складових частин документу

В документах довільної форми без спеціального захисту досліджуються параметри другої групи. Для документів, що містять спеціальний захист номенклатура параметрів контролю зазвичай обмежується характеристиками цього захисту. Втім, номенклатура документів настільки широка, а параметрів контролю так багато, що виникає потреба використання спеціальних засобів з автоматизацією прийняття рішень при дослідженні документів низькокваліфікованими спеціалістами.

Методи захисту документів умовно поділяють на технологічні, фізико-хімічні та поліграфічні. До технологічних методів відносять водяні знаки, захисні нитки і волокна, голографічний захист. До поліграфічних методів захисту відносять високий, плаский і глибокий друк, трафаретний друк, мікродрук, сумісний друк. Для забезпечення задач експертного криміналістичного дослідження технологічного і поліграфічного захисту

використовуються [15]: джерела світла видимого спектру, збільшувальне скло, мікроскопи, тобто загальновідомі і широко розповсюджені засоби пристосовані до задач контролю, але дослідження має проводитись висококваліфікованим спеціалістом. Тобто в області засобів контролю технологічного і поліграфічного захисту документів практично немає актуальних науково-технічних проблем, що потребують дослідження, за виключенням способів автоматизації процесу контролю, яку доцільніше робити при дослідженні фізико-хімічного захисту, параметри якого більш чітко формалізуються.

Захист документів фізико-хімічними методами поділяють на: люмінесцентний, інфрачервоний (ІЧ), магнітний захист та захист OVI-фарбами (Optically Variable Ink), що змінюють колір під різним кутом опромінення. Захист OVI-фарбами контролюється навіть неозброєним оком (рис. 1.1), параметром контролю служить зміна кольору відповідної області документу при спостереженні під різними кутами. Ознакою підробки служить сталість кольору при різних кутах спостереження (освітлення).

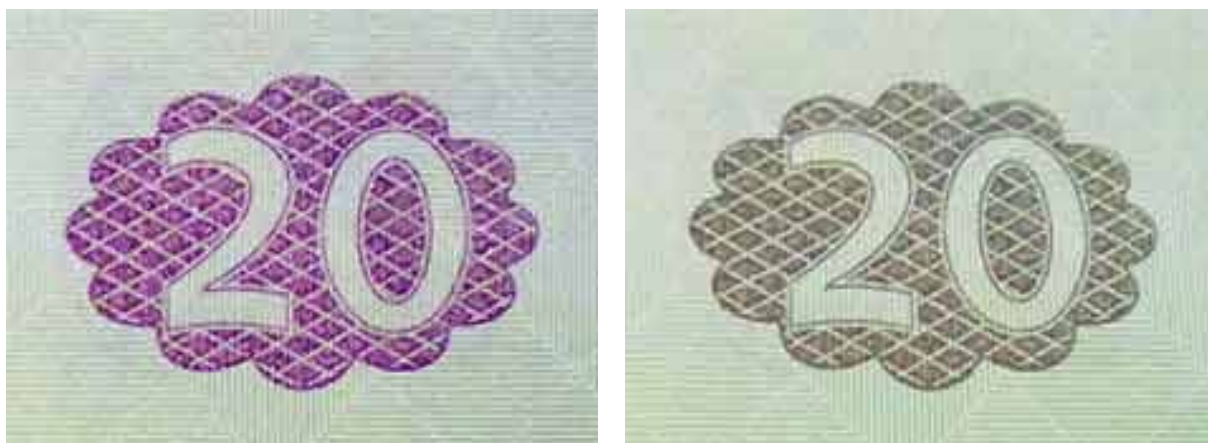


Рис. 1.1 Фрагмент банкноти номіналом 20 гривень з OVI-захистом при спостереженні під різними кутами.

Люмінесцентний захист забезпечується волокнами паперу, спеціальними фарбами або нитками, з характерним світінням при опроміненні ультрафіолетовими (УФ) променями. Для візуалізації цього виду захисту використовується джерело світла з довжиною хвилі порядку 300 нм. На рисунку 1.2 показано зображення зворотної сторони банкноти 100 рублів (РФ)

при звичайному і ультрафіолетовому освітленні. У фальшивих документах люмінесценція в УФ освітленні або не спостерігається взагалі, або УФ зображення має низькою роздільну здатність, через недосконалість кустарного виробництва.



Рис. 1.2 Контроль ультрафіолетового захисту при звичайному (а) і ультрафіолетовому (б) освітленні.

ІЧ захист забезпечується властивістю матеріалів (зазвичай фарби) документу по-різному пропускати і відбивати інфрачервоні промені, як показано на прикладі банкноти 1000 російських рублів (рис. 1.3). Візуалізація інфрачервоного захисту зазвичай виконується за допомогою джерела світла з довжиною хвилі близько 900 нм, відеокамери з чутливим до ІЧ світла сенсором і дисплеєм, який показує реакцію документа на ІЧ опромінення у видимому діапазоні довжин хвиль.



Рис. 1.3 Контроль інфрачервоного захисту при звичайному (а) та інфрачервоному (б) освітленні.

На сьогоднішній день наукові проблеми дослідження люмінісцентного та ІЧ захисту добре розроблені. Це підтверджується наявністю на ринку великої кількості засобів технічного контролю оригінальності цінних паперів з

функціями УФ та ІЧ дослідження [15], таких як: Regula-4177 та Dors-1000 однойменних фірм, Ультрамаг-С6 фірми Віддіс; широко розповсюджені засоби фірм Foster + Freeman та Projectino. З метою зменшення часу і трудомісткості перевірки оригінальності документів переважна більшість засобів контролю виконується у вигляді цифрових телевізійних систем (ТС) автоматизованого контролю, наприклад VSC6000/HS фірми Foster + Freeman.

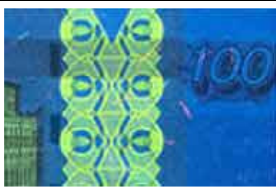

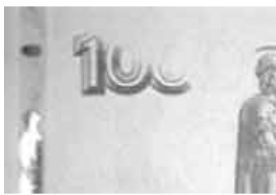
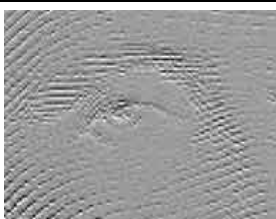
Засобам магнітного контролю приділяється менше уваги на світовому ринку вочевидь через складність їх реалізації і брак наукових праць, присвячених проблемам дослідження магнітних характеристик документів. Однак, в умовах сталого поліпшення якості фальсифікацій існує нагальна потреба всебічного дослідження документів, цінних паперів і грошових знаків, в тому числі їх магнітних характеристик.

Серед магнітних характеристик можна виділити, по-перше, магнітний захист, як чітко формалізований предмет дослідження в документі, по-друге, магнітний друк, що виконується загальним способом створення документів довільної форми, або заповнення стандартних полів документу (наприклад в паспорті). Магнітний захист — це вид фізико-хімічного захисту, оснований на введенні феромагнітних компонентів у складові частини документів, цінних паперів і грошових знаків [13]. При магнітному друці (якщо документ виконують магнітною фарбою) документ також набуває певних магнітних властивостей. Характерні магнітні параметри фарби дозволяють класифікувати документи за типом фарбника. В такому разі експертне дослідження магнітного захисту може виявити порушення цілісності документу: підмінені сторінки, додрукування у вільних місцях документу. Феромагнітні компоненти можуть вводитись умисно в типографські фарби, в основу носія даних (металеві стрічки і волокна). Інколи методи фізико-хімічного і поліграфічного захисту поєднують у вигляді метамірних рисунків, в яких одні і ті ж самі неперервні лінії на оптичному зображенні документу виконані фарбами з різними магнітними властивостями, подібно ІЧ захисту. Ефективність магнітного захисту поліпшується, також, використанням широкого спектру магнітних матеріалів як

магнітом'яких, так і магнітотвердих. Крім того, низька розповсюдженість і висока вартість засобів контролю магнітного захисту зменшує вірогідність якісного контролю магнітних властивостей підробки її виробником. Магнітний захист один з найбільш складних способів фізико-хімічного захисту документів практично недоступний для виготовлення в умовах кустарного виробництва. Відомі випадки виявлення підробки лише після інструментального дослідження магнітних властивостей документу. Тобто магнітний контроль є важливим доповненням техніко-криміналістичної експертизи документів.

Результати аналізу відомих видів фізико-хімічного захисту документів і засобів їх контролю подано в таблиці 1.1, з якої видно що в галузі контролю магнітного захисту, з одного боку, ускладнена процедура підробки, з іншого — існують невирішені питання методів і засобів контролю. Тому дана робота присвячена контролю саме магнітного захисту.

Таблиця 1.1. Фізико-хімічний технічний захист документів

Захист	Основні засоби контролю	Приклад контролю	Складність підробки	Складність контролю
Люмінесцентний	Джерело УФ світла		Низька	Низька
OVI-фарби	Джерело видимого світла		Середня	Низька
Інфрачервоний	Джерело ІЧ світла, ІЧ датчик, система виводу		Висока	Середня
Магнітний	Система збудження, магнітний датчик, система розгортки, система виводу		Висока	Висока

1.2 Відомі схеми побудови та характеристики засобів контролю магнітних параметрів документів

У кожному конкретному засобі магнітного дослідження документів використовується певний набір із кінцевої множини параметрів, що характеризують фізичні властивості елементів магнітного захисту, закладених на стадії виробництва об'єкта контролю. Засоби контролю магнітного захисту можна розділити на три категорії за повнотою контрольованих параметрів, як такі що визначають:

1. Наявність магнітного захисту.
2. Топологію (форму, розміри і розташування).
3. Трасологію (фактура).
4. Топографію (просторовий розподіл амплітуд) магнітних полів розсіяння об'єкта.

Доступність технологій комп'ютерної обробки зображень і висока якість оргтехніки створюють сприятливі умови для покращення якості кустарних підробок. Детектори, які визначають лише наявність магнітних матеріалів в об'єкті контролю, не ефективні. Тому слід розглянути детальніше відомі, найбільш поширені засоби топологічного і топографічного контролю.

Топологічний контроль документів полягає у геометричному порівнянні областей магнітного друку еталонного і контрольованого зразка, що вимагає високої роздільної здатності засобів контролю, особливо при трасологічній експертизі, але ці засоби можуть не мати широкого динамічного діапазону, необхідного для топографічного контролю, де важливо контролювати не тільки наявність магнітних компонентів в певній області документу, а і їх кількісні характеристики.

У засобах топографічного контролю просторовий розподіл амплітуд магнітних полів вимірюється однією або кількома магнітними головками зчитування індукційного (магнітоелектричний метод контролю) або магніторезистивного типу (гальвано-магнітний метод контролю) [16], якими сканується об'єкт контролю. Більшість пристроїв даного типу ("Dors 220"

фірми Система, “Magner 9930A” фірми Magner, “SNC-20A” фірми Sanyo) виконують контроль оригінальності банкнот і використовують для зчитування стандартні магнітні головки магнітофонів або датчики Холла. Приблизний сигнал, що отримують під час сканування показано на рис. 1.4. на прикладі банкноти \$100. Фрагменти банкноти, надруковані магнітними фарбами, позначено на рисунку зеленими полігонами. Намагніченість банкноти перевіряють скануванням в декількох перерізах (a, b, c, d, e) вздовж осі x , при цьому отримують просторово-часові ($x \sim t$) розгортки залежності, наприклад, напруги $U_a(t) - U_e(t)$ датчиків магнітного поля, які порівнюють з еталонними. При цьому кількість датчиків, фізично обмежується їх відносно великими розмірами, та низькою роздільною здатністю, тому такі пристрої дозволяють виконувати лише грубе вимірювання просторового розподілу амплітуд магнітного поля контрольованого зразка.

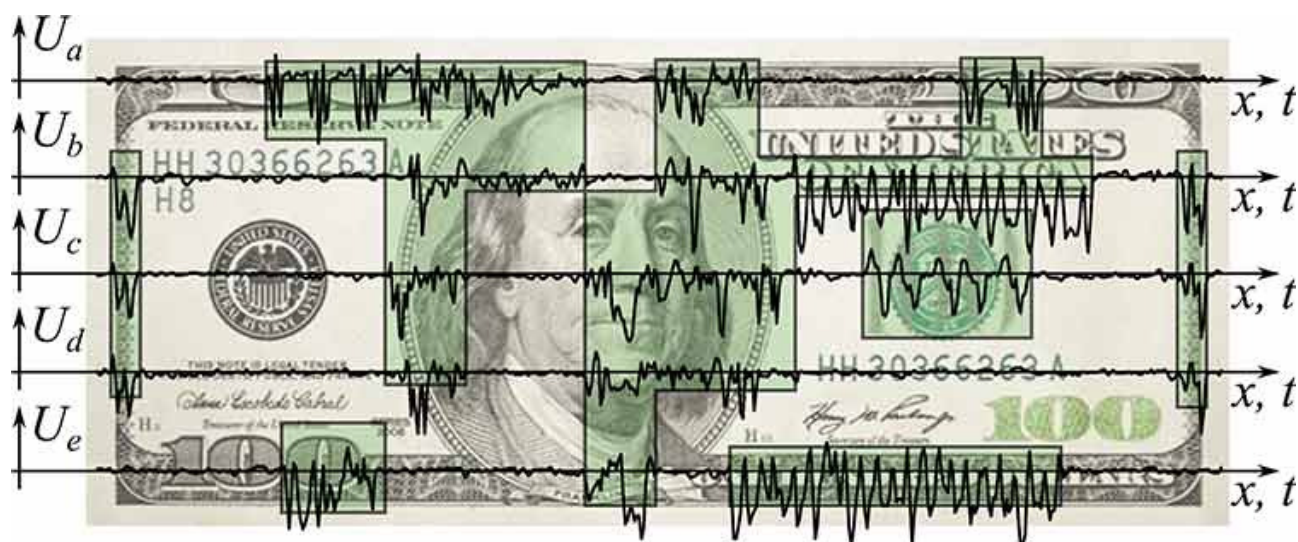


Рис. 1.4. Сканування магнітного захисту банкноти (виділено зеленими полігонами) індукційними датчиками.

Враховуючи специфіку застосування таких пристроїв, що передбачає високу степінь конфіденційності, у відкритих джерелах немає даних про параметри магнітних вимірювань. Можна лише припустити, що кількість каналів сканування навряд чи перевищує 10 шт. на ширину контрольованої банкноти. Отже відносно великі розміри магнітних головок не дозволяють виконувати побудову магнітних карт з роздільною здатністю придатною для

топологічного контролю, без якого значно спрощується процедура підробки. Відомі випадки шахрайства з автоматичними приймачами купюр, коли магнітна карта банкноти будувалась із фрагментів банкнот меншого номіналу, склеєних поміж собою, а автоматичний контроль, виконавши процедуру сканування подібну рис. 1.4, “розпізнавав” купюру більшого номіналу. На жаль сигнал магнітних головок користувачу недоступний. Процеси сканування об’єкта, обробки даних і прийняття рішення автоматизовані, а форма представлення контрольних даних бінарна “оригінал/підробка”.

Перераховані вище обставини зумовлюють застосування даних пристроїв переважно в банківській справі. Відсутність доступу до даних топограмм практично унеможлиблює використання відомих засобів топографічного контролю в криміналістичному дослідженні, де, по-перше, експертний висновок має бути обґрунтованим, а по-друге, номенклатура контрольованих об’єктів не обмежується банкнотами декількох країн світу.

Високі показники чутливості, просторової роздільної здатності і швидкодії магнітооптичних (МО) перетворювачів зумовили їх використання в якості засобів дослідження просторово неоднорідних магнітних полів [17]. МО перетворювачі широко використовуються в галузі дефектоскопії та неруйнівного контролю (НК) феромагнітних виробів. Відомі МО візуалізатори полів розсіювання дефектів (інтроскопи) [18], [19] дозволяють контролювати градієнт структури та рельєфу приповерхневих шарів феромагнітних виробів, однак вони чутливі до змін просторового розміщення перетворювача та поверхні контролю, потребують повного прилягання між ними і тому дають змогу контролювати лише пласкі поверхні. Цього недоліку позбавлені МО візуалізатори магнітограм (МГ) [20]. Вони візуалізують запис магнітних полів розсіювання дефектів [21], виконаний на гнучкому проміжному магнітному носії (магнітній стрічці), попередньо накладеному на поверхню об’єкта контролю (ОК). Своє місце МО візуалізація знаходить і в дослідженні магнітних властивостей документів.

Засоби топологічного контролю широко представлені малогабаритними

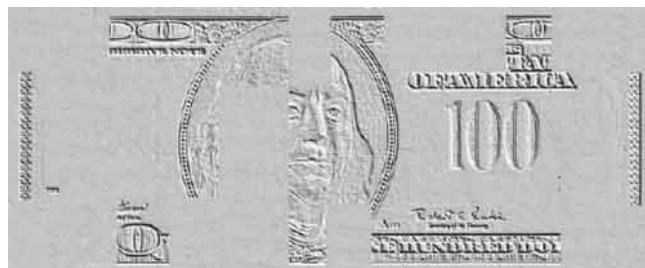
ручними пристроями магнітооптичної візуалізації (“Regula-4097” фірми Regula, “Маг-Видео” фірми Вілдіс, “Магнитоскоп-2К” фірми ЭВС, “Dors 30” фірми Система). Для топологічного контролю магнітного захисту виконується його візуалізація з використанням магнітооптичного ефекту Фарадея. Форма подачі контрольних даних (оптичне зображення магнітних полів розсіяння об’єкта) зручна для візуального сприйняття, інтерпретації та експертної оцінки, тому такі прилади переважно застосовуються в криміналістиці.

Основний недолік таких засобів — мале поле зору (не більше 11×14 мм), яке в переважній більшості складає незначну частину площі поверхні контрольованого об’єкта, що значно уповільнює процес дослідження в умовах ручного сканування і унеможливорює побудову магнітних карт (повного магнітного образу досліджуваного об’єкта). Також під час сканування поточне зображення магнітооптичної візуалізації зашумлюється залишковою інформацією попередніх кадрів візуалізації, яка зберігається за рахунок хоч і низької, але не нульової коерцитивної сили магнітооптичного перетворювача.

Розглянемо більш детально дослідження магнітних характеристик на прикладі банкноти \$100 США. На рис. 1.4 (а) подано фотографічне зображення оригінальної банкноти. Частини зображення на ній виконано магнітними фарбами, що підтверджується її магнітооптичним (МО) зображенням рис. 1.4 (б), виконаним панорамною зшивкою кадрів, отриманих за допомогою пристрою Regula-4098.



а



б

Рис. 1.4 Контроль магнітного захисту банкноти \$100 США:

а — оптичне зображення (фото), б — зшите МО зображення магнітного захисту.

Отже за МО зображенням документу можна визначити області виконані

магнітними фарбами, проконтролювати якість нанесення магнітного рисунку, його роздільну здатність. Але МО візуалізація не дає змоги відрізнити одні магнітні фарби від інших, тому існує необхідність вдосконалення засобів дослідження функціями вимірювання магнітних параметрів.

Контроль УФ та ІЧ та магнітного захисту на практиці фактично зводиться до досить грубої перевірки наявності УФ, ІЧ та магнітних міток у відповідних місцях в ручному або автоматичному режимі. Відомі способи дослідження не включають, наприклад, перевірку коефіцієнту відбиття УФ/ІЧ світла, або магнітну проникність чи крутість петлі магнітного гістерезису магнітної фарби. Втім вимірювання таких параметрів значно підвищило б шанси розпізнавання підробки навіть в автоматичному режимі. Крім того, усі названі вище параметри захисту та засоби їх перевірки мало підходять для технічної експертизи звичайних документів (для випадків контролю документів невстановленого зразка).

Одна з особливостей дослідження документів в криміналістиці — практично необмежена номенклатура об'єктів контролю. Так у галузі виробництва документів та в банківській справі експерт має справу з документами встановленого зразка (грошові знаки, паспорти, дипломи, цінні папери), тобто завжди існує еталонний документ для порівняння з особливими видами захисту. В криміналістиці ж експерт може стикатися з документами довільної форми і без додаткових захисних властивостей.

Наприклад, існує двосторонній договір укладений на папері в двох екземплярах для кожної сторони. Текст договору надруковано на трьох аркушах паперу звичайним побутовим принтером з магнітною фарбою. У той час як перша і остання сторінки договору мають мокрі печатки та підписи сторін, друга сторінка, не маючи жодних захисних елементів, була передрукована однією зі сторін на свою користь. Завдання технічного експерта — визначити підроблений документ і аргументовано довести підробку договору однією зі сторін. Тобто визначити властивості, за якими друга сторінка документу відрізняється від першої і останньої, як апріорі оригінальних сторінок.

Оскільки документи не мають захисних міток, експерт вимушений перевіряти загальні фізико-хімічні властивості документу, такі як щільність і хімічний склад паперу, хімічний склад фарби, її магнітні властивості. Наявні засоби магнітного контролю здатні відрізнити лише магнітні і немагнітні фарби, але не здатні відрізнити магнітні фарби поміж собою.

На рис. 1.5 подано магнітооптичне зображення документів, надрукованих на різних принтерах, різними магнітними фарбами. Документи неможливо відрізнити лише за МО зображеннями. Отже якісний контроль магнітних параметрів документів не вирішує в повній мірі завдань експертизи документів. Існує необхідність кількісної оцінки магнітних властивостей.

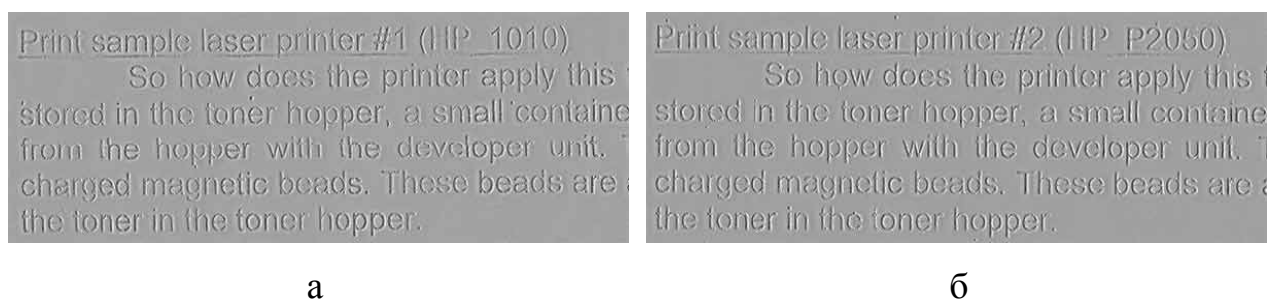


Рис. 1.5 Магнітооптичне зображення документів, надрукованих принтерами HP LaserJet 1010 (а) та HP Deskjet 2050 (б).

На жаль серед відомих пристроїв магнітооптичної візуалізації немає моделей, які здатні виконувати магнітні вимірювання, хоча можливість використання магнітооптичних перетворювачів в якості датчиків магнітних полів очевидна і має теоретичне обґрунтування в роботах [22] та [1]. Тобто існує низка науково-технічних проблем, вирішення яких дає змогу поліпшити можливості магнітооптичних телевізійних систем для виконання актуальних задач контролю магнітних параметрів документів. Підсумок вищенаведеного аналізу методів контролю магнітних параметрів документів, які наразі застосовуються на практиці, подано в таблиці 1.2.

З таблиці видно, що відомі засоби топографічного контролю фізично не здатні забезпечити одночасно якісний топологічний контроль через низьку роздільну здатність, а відомі засоби топологічного контролю не дозволяють виконувати побудову магнітних карт і вимірювання магнітних характеристик.

Таблиця 1.2. Порівняльна характеристика методів магнітного контролю.

Методи контролю	Види контролю магнітних складових				Потенційна можливість комплексного контролю
	Якісний			Кількісний	
	Наявність	Топологія	Трасологія	Топографія	
Магніто-оптичний	+	+/-	+	-	+
Гальвано-магнітний	+	-	-	+	-
Магніто-електричний					

Виходячи з вище сказаного можна зробити висновок, що наявні засоби дослідження магнітного захисту не забезпечують комплексного контролю об'єкта, що включає елементи топології і топографії. Отже, найбільш перспективним напрямком для дослідження вбачаються методи поліпшення якості засобів контролю магнітних характеристик документів, що дозволять забезпечити комплексний (більш вірогідний) контроль.

1.3 Огляд методів вимірювання магнітних параметрів

Враховуючи анізотропію форми (значно меншої за довжину і ширину товщини) магнітних складових документів, а також наявність підкладки (папір або пластик) їх можна віднести до класу магнітних плівок. Методи вимірювання магнітних характеристик плівок в [16] умовно ділять на дві великі групи:

1. Методи вимірювання інтегральних магнітних характеристик
2. Методи вимірювання локальних магнітних характеристик

Вимірювання інтегральних магнітних характеристик цінних паперів та грошових знаків з метою дослідження їх автентичності малоефективно і може виявити лише значні зміни магнітних властивостей всього документу, наприклад, його передрукування немагнітними фарбами замість магнітних. Тому розглянемо більш детально методи вимірювання локальних магнітних характеристик, до них відносять:

1. Магнітооптичні методи

2. Магнітоелектричний метод
3. Гальваномагнітний метод
4. Електронно-оптичний метод
5. Метод рентгенівської топографії
6. Магнітопорошковий метод

Історично перший метод візуалізації магнітних полів — магнітопорошковий метод. Його запропонував Ф. Біттер у 1930 р., коли ще не була сформована теорія магнітних доменів. Для візуалізації Біттер використав феромагнітну рідину — колоїдну суспензію магнітних часток, кожна з яких за формою нагадує мікроскопічну голку розмірами порядку мікрона. Перебуваючи у зваженому стані й практично не зазнаючи тертя, такі частки можуть швидко переорієнтуватися залежно від напрямку прикладеного поля. Якщо нанести на намагнічену поверхню тонкий шар суспензії, вони концентруються вздовж ділянок зразка, де намагніченість міняє свій знак, формуючи так звані картини Біттера, які можна спостерігати за допомогою оптичного або електронного мікроскопа. Роздільна здатність методу визначається, в основному, розмірами магнітних часток і сполукою розчину та може досягати 100 нм. Втім, метод Біттера має істотний недолік — неможливо видалити магнітну суспензію з деяких поверхонь (магнітні стрічки на пластмасовій основі, папір та ін.). Тобто метод Біттера є руйнуючим. Крім того, цим методом вкрай важко робити дослідження поверхонь на кількісному рівні.

Метод рентгенівської топографії основний на дифракції рентгенівського випромінення в кристалічних матеріалах зі значною магнітострикцією і тому не може використовуватись для дослідження дисперсних феромагнітних матеріалів, з яких виготовляють документи.

Електронно-оптичний метод оснований на властивості заломлення траєкторії електронів при проходженні крізь плівку з магнітними доменами під дією сили Лоренца. Метод дає можливість отримувати зображення з високою роздільною здатністю [23], однак занадто чутливий до нерівностей поверхні документів. Розміри одержуваних зображень становлять не більше десятків

мікронів. У той час, як для контролю автентичності елементів захисту документів необхідна побудова зображення магнітних полів з розмірами порядку десятків міліметрів і більше. Крім того висока вартість вимірювальних пристроїв, практично унеможливорює використання цього методу візуалізації для задач аутентифікації документів.

Різноманітні точкові датчики магнітного поля індукційного (магнітні головки) або резистивного типу (датчики Холла чи Віганда), які застосовуються магнітоелектричними та гальваноманітними методами, в принципі здатні виконувати локальні магнітні вимірювання, наприклад, за допомогою сканування. Але таким датчикам притаманні відносно великі розміри, що значно ускладнює їх використання для візуалізації зображення просторово неоднорідних магнітних полів документів. Пристрої, що використовують подібні датчики не забезпечують візуалізацію магнітного відбитка, тому не можуть з високою вірогідністю вирізняти оригінальні документи від фальшивих, в які введені магнітні частинки навіть в довільному порядку, не формуючи відповідний рисунок.

Оптимальними для контролю носіїв даних, ідентифікаційних позначень, елементів захисту цінних паперів і грошових знаків є магнітооптичні методи. Для їх реалізації може використовуватись ефект Керра [24, 25] (явище зміни показника заломлення оптичного матеріалу пропорційно квадрату напруженості прикладеного електричного поля) або ефект Фарадея [26, 27] (явище повороту площини поляризації світла, що проходить через магнітооптичне середовище). За сукупністю таких важливих факторів, як чутливість, роздільна здатність, час контролю та ціна методи магнітооптичної візуалізації з використанням ефекту Фарадея є найбільш перспективними для контролю носіїв даних, елементів магнітного захисту цінних паперів і грошових знаків. Розглянемо магнітооптичні методи детальніше.

У [28] описано магнітооптичний тесламетр, оснований на магнітооптичному ефекті Фарадея, де застосовано базові принципи побудови магнітооптичних систем. Його схема подана на рис. 1.6. Світловий потік від джерела

(1) проходить поляризатор (2), робоче тіло (3), що знаходиться в полі з вимірюваною магнітною індукцією B , аналізатор (4) і попадає на фотоелемент (5).

В результаті зміни азимуту площини поляризації в магнітному полі на кут φ змінюється інтенсивність потоку, що пройшов аналізатор. Таким чином, відповідно до закону Малюса потік випромінення, який попадає на фотоприймач, призводить до появи на його виході фотоструму $I = I_0 \cos^2(\beta - \varphi)$, де β — азимут площини поляризації, I_0 — струм за відсутності магнітного поля.

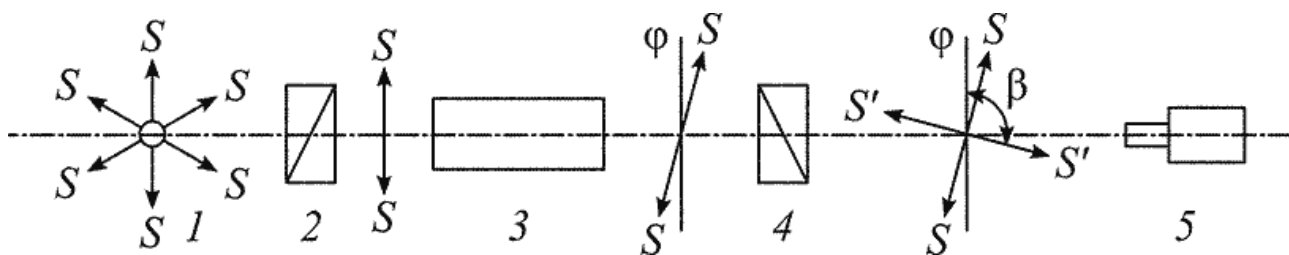


Рис. 1.6. Схема тесламетра, основаного на ефекті Фарадея.

Такі тесламери знаходять застосування в пристроях вимірювання магнітної індукції струму у високовольтних лініях електропередач. У [28] відмічають невисоку чутливість такого тесламетра через низькі значення постійної Верде робочого тіла, що не перевищує $10 \text{ рад} / (\text{м} \cdot \text{Тл})$ у кращих зразках спеціального скла, що недостатньо для контролю дрібнодисперсних феромагнітних компонентів документів з індукцією порядку одиниць мТл. З розвитком оптоволоконної техніки у якості робочого тіла почали використовувати волоконно-оптичні датчики. Так у [29] застосовується котушка із оптичного волокна, що дозволяє підвищити чутливість. При цьому джерело магнітного поля, провідник зі струмом I , (2) розміщується всередині котушки (1), як показано на рис. 1.7.



Рис 1.7 Застосування оптоволоконних котушок у якості робочого тіла.

Така схема відноситься до типу тесламетрів, де волоконно-оптичний датчик виступає як середовищем передачі так і чутливим елементом [30 – 33],

однак існують [34] такі датчики, де чутливим елементом виступає введений в тракт передачі матеріал з магнітооптичними властивостями, який має більші значення сталої Верде [35]. Такими матеріалами можуть бути парамагнетики [36 – 40] (кристали та плівки ферит-грантів), діамагнітне скло [41 – 44] та ін.

Така конфігурація робочого тіла різко збільшує розміри чутливого елемента тесламетру, що не дозволяє отримати просторовий розподіл магнітного поля документів з достатньою роздільною здатністю. Отже магнітооптичні тесламетри із застосуванням у якості робочого тіла волоконно-оптичних датчиків не придатні для контролю магнітного захисту документів.

Оскільки контроль документів не відбувається в агресивному середовищі, застосування оптичного волокна для передачі сигналу технічно не виправдано. При магнітооптичному контролі в звичайних температурних та електромагнітних умовах у якості магнітооптичного середовища частіше використовуються ферит-гранати, ортоферити і аморфні плівки [45 – 48], зокрема і для контролю оригінальності цінних паперів з магнітними відбитком [49]. Найбільше розповсюдження у засобах магнітооптичної візуалізації магнітного захисту документів отримали вісмутовмісні ферит-гранати через їх велике питоме фарадеєвське обертання і низький коефіцієнт оптичного поглинання. Ферит-гранати отримують у вигляді епітаксialьних плівок, які разом з підкладкою утворюють магнітооптичний кристал (МОК).

МОК — основний елемент пристрою візуалізації, за допомогою якого виконується перетворення сигналу розподілу напруженості магнітних полів розсіяння в світловий розподіл. Такий кристал виготовляють на підкладці із галій-гадолінієвого граната, на якому нарощують плівку ферит-граната. Верхню грань кристала просвітлюють, а на нижню наносять дзеркальний захисний шар. Товщина плівки ферит-граната складає приблизно 1 мкм, що робить її прозорою у видимому діапазоні хвиль. Завдяки дзеркальному напиленню в оптичних схемах, світло проходить крізь товщину кристалу двічі — в прямому і зворотному напрямку, що вдвічі збільшує кут повороту площини поляризації. Вісь легкого намагнічування орієнтована по нормалі до поверхні плівки, в

середині якої утворюється лабіринтна доменна структура, зображена на рис. 1.8.

Оскільки плівка ферит-граната є антиферомагнетиком, за відсутності магнітного поля домени перетворювача перебувають у рівноважному стані. При намагнічуванні магнітним полем уздовж нормалі до плівки скорочується поверхнева площа доменів з не вигідною орієнтацією магнітних доменів [17]. Отже за відношенням площ протилежно орієнтованих доменів можна локально оцінити ступінь намагніченості плівки, що прямо пропорційна прикладеному до неї магнітному полю.

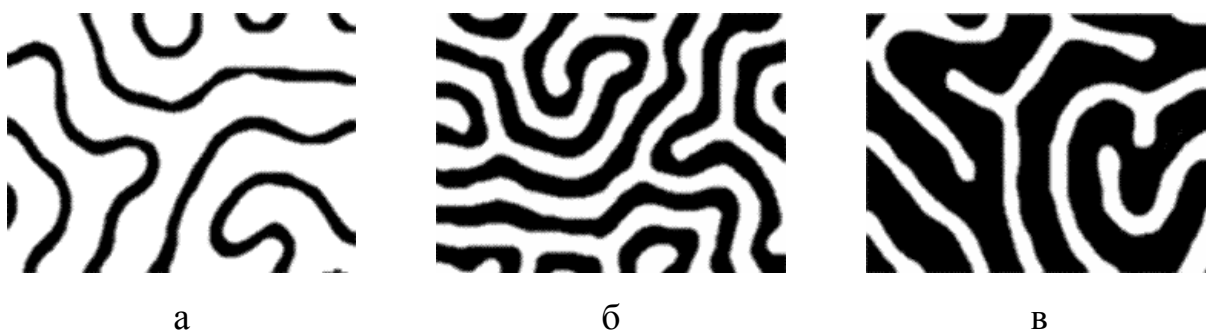


Рис. 1.8. Зображення МО плівки зі смуговою доменною структурою при різній намагніченості M : а — $0 > M > M_s$, б — $M = 0$, в — $-M_s < M < 0$.

Застосування МОК для контролю магнітних параметрів документів, зокрема, реалізовано у магнітооптичній телевізійній системі перевірки оригінальності цінних паперів з магнітним відбитком [49], принципова схема якої подана на рис. 1.9.

Світло від монохроматичного джерела (1) проходить коліматор (2) і поляризатор (3) та попадає на прямокутну призму 4, на віддзеркалювальній (гіпотензивній) грані якої розміщується МОК (5) до якого притискається досліджуваний об'єкт (документ). Магнітні поля розсіяння документу створюють просторову намагніченість кристалу, пропорційно якій виникає поворот площини поляризації лінійно поляризованого світла, яке проходить крізь кристал та надходить до аналізатора (7) і через об'єктив (8) фокусується на датчику телевізійної камери (9), сигнал якої можна спостерігати на моніторі (10). Об'єкт дослідження (6) за допомогою вузла притискання (11) максимально наближується до кристалу (5), при цьому електромагнітна котушка (12) створює

магнітне поле в площині перетворювача за допомогою генератора високочастотного підмагнічування (13), що дозволяє знизити вплив коерцитивності МОК на якість візуалізації. При необхідності, об'єкт може транспортуватись механічним приводом (14), та намагнічуватись джерелом постійного магнітного поля (15). При цьому на моніторі можна спостерігати подібне до рис. 1.10 зображення.

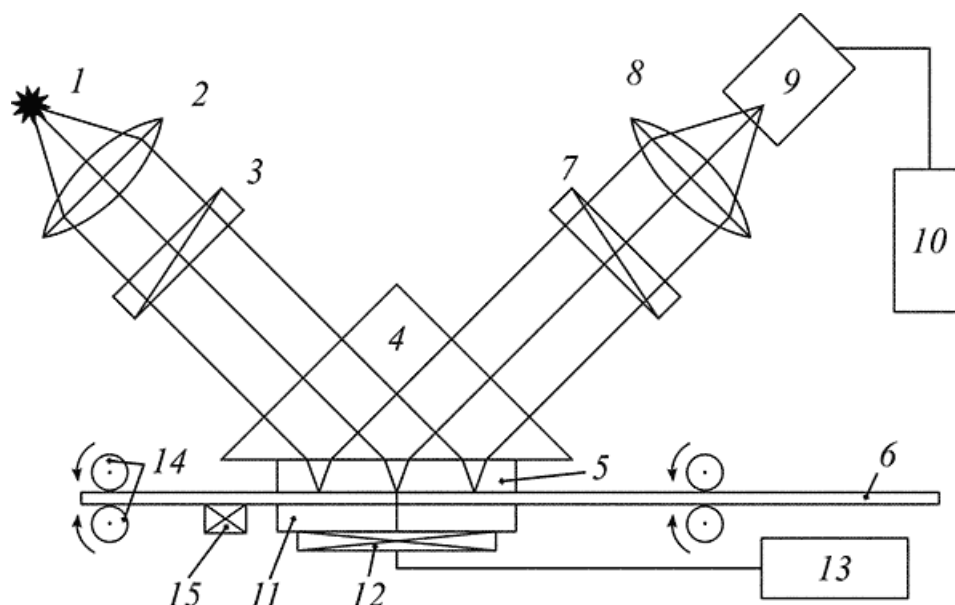


Рис. 1.9. Принципова схема магнітооптичної телевізійної системи перевірки оригінальності цінних паперів з магнітним відбитком



Рис. 1.10. МО Візуалізація магнітного захисту фрагменту банкноти \$1.

Магнітооптичний пристрій контролю виробу [50] побудований за

подібним принципом також включає пристрій реєстрації з фотоприймачем із зарядовим зв'язком. Слід відмітити, що телевізійна камера у складі цих засобів значно спрощує зчитування, передачу (у т. ч. безпроводну), обробку і зберігання зображень просторових розподілів магнітних полів. В останній час застосування телевізійних систем стало досить поширеною практикою в магнітооптичних дослідженнях, це дозволяє виконувати спеціальну фільтрацію [51 – 53], сегментацію зображень а також синхронізацію введення зображення з роботою інших компонентів системи [54 – 57].

Проблеми низької чутливості та коерцитивного шуму магнітооптичного перетворювача наразі успішно долаються застосуванням систем розмагнічування, або так званої “магнітної очистки” [58], а також програмними фільтрами обробки зображень [3, 59, 60]. З рис. 1.10 видно основний недолік цього методу — вузький динамічний діапазон, що не дозволяє досліджувати сильні магнітні поля, якими можуть характеризуватися магнітні елементи документів в стані насичення. Так в областях МО зображення магнітного друку практично відсутні сірі напівтони, тобто в сигналі просторового розподілу магнітної індукції досліджуваного документу виникають сильні нелінійні спотворення, що не дає можливості кількісно оцінити параметри магнітного друку.

Тому наразі телевізійні системи контролю документів на основі МОК застосовуються лише для якісного контролю магнітних параметрів документів. Це дає можливість проконтролювати розташування магнітних елементів документу (топологічний контроль) з високою роздільною здатністю, але при цьому (через вузький динамічний діапазон МОК) неможливо ідентифікувати матеріал магнітних елементів, для чого необхідно кількісно оцінити магнітну індукцію областей магнітного друку документу.

Розширити динамічний діапазон магнітооптичного контролю магнітних параметрів документів можна компенсаційним методом вимірювання, як це запропоновано у [45], при цьому магнітооптична плівка використовується у якості нуль-детектора. Принципова схема цього магнітооптичного вимірювача

постійних полів і струмів подана на рис. 1.11. Схема магнітооптичного перетворення подібна до розглянутої раніше (рис. 1.9) магнітооптичної телевізійної системи перевірки оригінальності цінних паперів з магнітним відбитком. Магнітооптична плівка (4) розташована на гіпотензивній грані призми (3). Поляризоване світло від світлодіоду (1) модулюється плівкою відповідно до намагніченості його плівки. Промені з ортогональною поляризацією розділяються аналізатором (5) та детектуються фотодіодами (6) та (7), під'єднаними до диференційного підсилювача (8). Сигнал з виходу підсилювача (8) обробляється паралельно в двох каналах: першому, що складається із ФНЧ (9) та компаратора (12), який формує керуючий сигнал відповідно до знаку постійної складової диференційного фото-сигналу, та другому, що складається з ФВЧ (10), синхронного детектора (11) і компаратора (13), який формує керуючий сигнал відповідно до знаку синхронно детектованої другої гармоніки фото-сигналу. Сигнали обох каналів надходять на вхід комутатора (15), що керує детектором нуля (14). Вихід комутатора під'єднується до входу підсилювача струму (16), що живить котушку (17), яка використовується для компенсації зовнішніх магнітних полів. Щоб усунути вплив коерцитивності та забезпечити роботу приладу на другій гармоніці струму підмагнічування використовуються друга котушка (18), під'єднана до генератора височастотного підмагнічування (19).

Компаратор, порівнюючи нормовану різницю фото-сигналів з нулем, подає керуючий сигнал на підсилювач струму, який змінює величину струму компенсаційної котушки таким чином, щоб повністю компенсувати вимірюване магнітне поле шини (20), реалізуючи таким чином принцип загального негативного зворотного зв'язку, в якому магнітооптична плівка по суті виконує роль детектора нуля. Таким чином, за величиною струму котушки компенсації (17) визначається величина магнітного поля або струму в досліджуваному зразку (20). Струм компенсаційної котушки (17) можна зіставити з вимірюваним магнітним полем шини (20) методом теоретичного розрахунку або експериментальної калібрування.

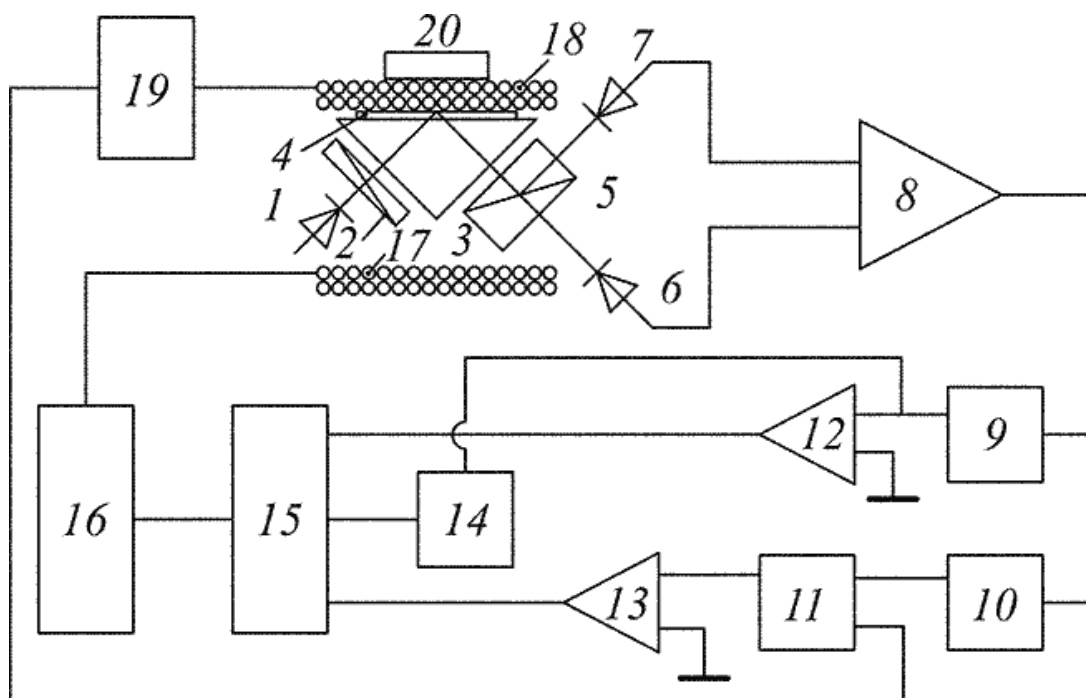


Рис. 1.11. Принципова схема магнітооптичного вимірювача постійних полів і струмів

Описаний метод кількісного магнітооптичного дослідження призначено для застосування в силових підстанціях електротранспорту, ланцюгах керування і автоматичного регулювання електропроводу і т. п., тобто там де потрібний точковий кількісний магнітний контроль, водночас при дослідженні магнітного захисту документів необхідно контролювати і просторовий розподіл магнітного поля.

Існує метод магнітографування [61], який поєднує візуалізацію просторового розподілу магнітного поля і його кількісну оцінку, яке необхідно для забезпечення комплексного дослідження магнітних параметрів документів. Магнітографування відбувається у прикладеному компенсаційному магнітному полі [61], подібно до [45], та фізично зводиться до знаходження розподілу поля по конфігураціям доменних структур індикаторної МО плівки, які утворюються під дією цього поля і додаткового компенсаційного поля. Таким чином забезпечується оцінка просторового розподілу магнітного поля в площині контролю.

На рис. 1.12 з [17] представлено структурну схему методу та теоретичний розподіл напруженості магнітного поля мікромагніта у відносних одиницях у

вигляді топограми ліній рівної напруженості (ЛРН) побудований за цим методом, а також результати його експериментального МО дослідження, за якими можна виконати побудову подібної топограми. Вимірюваний просторовий розподіл магнітного поля об'єкта контролю $H_{об}$ у суперпозиції з відомими значенням магнітного поля компенсації $\pm H_{1, 2, 3, \dots}$ намагнічує плівку МО перетворювача, зображення якої фіксується масивом макрофотографій. Рівноважні області зображень (на границі чорного і білого кольору) визначають рівні за амплітудою але протилежні за знаком значення вимірюваної напруженості магнітного поля ОК та відомого значення напруженості поля компенсації. За цими зображеннями, зафіксованими на мікрофотографіях, вручну будується топограма просторового розподілу напруженості магнітного поля ОК. Одразу можна звернути увагу, що кількість рівнів квантування (ЛРН) прямопропорційно впливає на час дослідження і його трудомісткість. Остання може бути зменшена шляхом автоматизації процесу вимірювання.

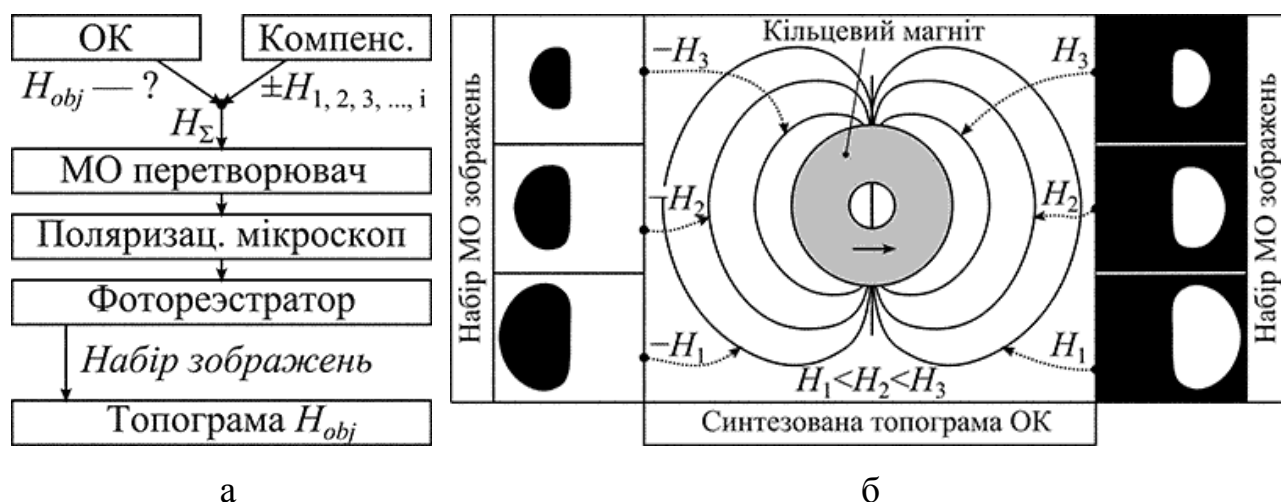


Рис. 1.12 Структурна схема (а) методу магнітооптичного топографування та процес побудови топограми у вигляді ЛРН (б) за мікрофотографіями МО зображень кільцевого магніту під дією різних амплітуд поля компенсації.

У відомих наукових джерелах [17, 22], присвячених проблемам магнітографування, вирішуються задачі контролю якості різноманітних джерел магнітного поля (постійні магніти, сигналограми магнітних носіїв, полюси магнітних головок, провідники струму, намагнічені вироби із магнітом'яких матеріалів) на рівні побудови топограмм напруженості магнітного поля в певній

площині біля його джерела. Метод магнітооптичного топографування використовується для контролю відносно сильних джерел магнітного поля, у той час як для контролю магнітного захисту документів потрібна здатність топографування слабого поля дисперсних феромагнетиків (магнітної фарби).

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. Так картини магнітного поля фіксуються на мікрофотографіях, за масивом яких вручну будується топограма джерела магнітного поля. Отримані в аналоговому вигляді топограми не придатні для магнітного контролю документів, оскільки такий контроль потребує не тільки вимірювання просторових розподілів магнітного поля документів, а і їх порівняння з метою класифікації документів. Таке порівняння вкрай складно виконувати вручну через значну частоту чергування магнітних і немагнітних областей документу (штрихів магнітної фарби, розміщених з періодом порядку десятків мкм).

Ручні способи збору і обробки експериментальних даних, отриманих в результаті різноманітних фізико-хімічних або біологічних досліджень відходять у минуле. Наразі для цього служать обчислювально-вимірювальні комплекси, змонтовані на базі спеціальних пристроїв і комп'ютера зі спеціальним ПЗ, основним призначенням якого є порівняння результатів досліджень з наявною інформацією в базі даних, що неможливо виконати вручну через великі масиви даних [62, 63].

З використанням сучасних телевізійних систем, подібно методу [49], системи підмагнічування, подібно [45], комп'ютерної техніки та мікроелектроніки метод магнітооптичного топографування [17] може набути нових властивостей, що дозволить виконувати магнітооптичними системами більш вірогідний, комплексний (топологічний, трасологічний та **топографічний**) магнітний контроль цінних паперів, грошових знаків та ін. документів.

1.4 Вибір напрямків досліджень

Як показано у підрозділі 1.1, задачі контролю оригінальності документів (у т. ч. цінних паперів і грошових знаків) постійно ускладнюються та актуалізуються через своєрідну “гонку озброєнь” між виробниками оригінальних та фальшивих документів. В галузі контролю магнітних параметрів документів існують невирішені питання методів і засобів, що знижує вірогідність аутентифікації документів.

Відомі засоби контролю магнітних параметрів документів розрізняють за типом контролю: кількісний або якісний. При кількісному (топографічному) контролі, на відміну якісного (топологічного, трасологічного) знаходять значення фізичних величин, що характеризують об’єкт контролю. Вірогідність контролю визначається ДСТУ 2865 — 94, як показник ступеня об’єктивного відображення результатами контролю дійсного технічного стану виробу. Її можна визначити імовірністю пропуску деталей з явними дефектами, або необгрунтованою браковкою придатних деталей. Вірогідність контролю 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.

Існує потенційна можливість комплексного контролю з використанням лише магнітооптичного датчика. Однак відомі магнітооптичні методи і засоби контролю документів дозволяють виконувати лише якісний контроль. Отже необхідно забезпечити кількісну оцінку просторового розподілу магнітного поля документу магнітооптичними системами. У відомому методі вимірювання магнітного поля або струму з використанням магнітооптичної плівки використовується принцип компенсації, в якому вимірювана величина магнітного поля визначається струмом допоміжного джерела, а магнітооптична плівка використовується у якості нуль-детектора. При цьому метод забезпечує виконання лише точкових вимірів та не дозволяє отримувати просторовий розподіл магнітного поля, необхідний для якісного (топологічного та

трасологічного дослідження документів.

Синтез властивостей, необхідних, але не достатніх для виконання комплексного контролю магнітних параметрів документів притаманний відомому методу магнітооптичного топографування, що полягає у суперпозиції поля об'єкта контролю каліброваним полем компенсації, фіксації зображень візуалізації під дією різних амплітуд магнітного поля джерела компенсації та ручній побудові аналогової топограми магнітного поля об'єкта контролю за збереженими на мікрофотографіях МО зображеннями. Суттєві недоліки не дають можливості застосувати його для контролю магнітних параметрів документів:

1. Дослідження обмежується об'єктами з власним магнітним полем, тому неможливо контролювати магнітом'які фарби документів. Отже, необхідно застосування допоміжного джерела збудження.

2. Висока трудомісткість. Застосування мікрофотографій для реєстрації проміжних магнітооптичних зображень значно збільшує час контролю та ускладнює обробку даних. Отже, слід застосовувати більш сучасні методи зберігання і обробки зображень, а саме — телевізійні системи контролю.

3. Складність інтерпретації і порівняння. Представлення даних контролю у вигляді топограми доцільно лише для розподілу магнітного поля з помірною частотою зміни амплітуд. Водночас деякі документи характеризуються високою частотою чергування магнітно-гетерогенних компонент, наприклад, штрихів магнітної фарби. Неавтоматизований аналоговий метод виводу даних вимірювань у вигляді топограм не дає можливості їх обробляти сучасними системами, у тому числі виконувати порівняння кількох вимірювань, що необхідно при класифікації документів. Отже необхідний більш ефективний метод обробки проміжних МО зображень та представлення даних вимірювання, з урахуванням особливостей розподілу магнітного поля документів, що дозволить їх порівняння і класифікацію.

Крім того такий підхід розширення динамічного діапазону магнітооптичного перетворювача не застосовується для контролю магнітного

захисту документів через недостатньо опрацьовані питання збудження поля розсіяння магнітної фарби документів, його взаємодії з магнітооптичним перетворювачем, відсутні напрацювання щодо вимірювання, обробки та порівняння параметрів магнітного захисту з використанням магнітооптичних телевізійних систем (МОТС). Тому комплексний (більш вірогідний) 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.

Об'єктом дослідження є контроль магнітних параметрів документів.

Предметом дослідження є методи кількісного магнітного контролю документів телевізійними системами на основі магнітооптичних перетворювачів.

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.

Часткові наукові завдання 1 – 2 вирішуються у другому розділі дисертаційної роботи, а 3 — у третьому. В четвертому розділі запропоновано засіб кількісного контролю магнітних параметрів документів, на основі якого

виконано експериментальні дослідження виявлення фальсифікації банкнот, роботи запропонованих методів обробки даних МОТС, ідентифікації принтерного друку магнітними фарбами і вірогідності виявлення його фальсифікації запропонованим методом. Також визначено чутливість і роздільну здатність запропонованого засобу та його придатність для комплексного (якісного і кількісного) дослідження магнітних параметрів документів.

Висновки до першого розділу

1. Задачі контролю оригінальності документів постійно 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 контроль документів маловивчений але перспективний напрямок дослідження для наукових результатів і їх застосування на практиці.

2. Датчики, що застосовуються для магнітного контролю, мають обмеження: відносно великі розміри точкових гальваноманітних та магнітоелектричних датчиків не дають змоги візуалізувати магнітний захист з достатньою для топологічного та трасологічного контролю роздільною здатністю, магнітооптичні датчики характеризуються вузьким динамічним діапазоном та нелінійністю перетворення, тому вони не використовуються для топографічного контролю документів.

3. Існує актуальна наукова задача, що полягає в розробці методів вимірювання і обробки магнітних параметрів документів з використанням МОТС для підвищення вірогідності їх контролю.

4. Відомий метод магнітографування у прикладеному компенсаційному магнітному полі не застосовується для топографування магнітних полів документів, тому потребує всебічного дослідження. Метод трудомісткий та

високовартісний, а інтерпретація результатів магнітної оцінки у вигляді топограми ліній рівної напруженості неприйнятна для дослідження документів через високу частоту чергування магнітно-гетерогенних компонентів.

5. Вирішенню поставленої задачі кількісного магнітооптичного контролю має передувати створення математичної моделі системи вимірювання магнітних параметрів документів, що дозволяє проаналізувати перетворення сигналу просторового розподілу магнітної індукції документа в зображення телевізійної системи та визначити співвідношення характеристик компонентів системи.

6. Основною задачею контролю документів є виявлення їх фальсифікації шляхом зіставлення властивостей контролюваного та еталонного зразків, тому існує необхідність розробки методів обробки даних магнітооптичною телевізійною системою при кількісному контролі документів, що дозволяють їх класифікацію.

2. ВИМІРЮВАННЯ МАГНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ ДОКУМЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МАГНІТООПТИЧНОЇ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Аналіз телевізійної системи магнітооптичного перетворення

Магнітооптичні перетворювачі широко використовуються у якості датчиків засобів телевізійного вимірювання і контролю просторово неоднорідних магнітних полів. Їх застосування теоретично обґрунтовано і має приклади практичної реалізації в багатьох роботах. Так, у роботах [3], [64] магнітооптичний датчик використовується для топологічного (форма, розміри та розташування) і топографічного (просторовий розподіл амплітуд) магнітних полів розсіяння елементів магнітного захисту документів. У статті [22] розглядається метод побудови граничної петлі гістерезису досліджуваного сплаву за допомогою МО перетворювача. В роботах [59, 60] магнітооптичне перетворення використовується для візуалізації просторового розподілу напруженості магнітного поля вихрових струмів у немагнітних металах, в т. ч. через проміжний магнітний носій [1, 65] з подальшою обробкою зображень [2]. Не дивлячись на різноманіття об'єктів контролю, в усіх наведених вище засобах використовуються функціонально подібні вузли магнітооптичного перетворення.

Магнітооптичний перетворювач є основним елементом досліджуваної телевізійної системи контролю, тому доцільно проаналізувати принципи його роботи. Розглянемо загальну схему магнітооптичного перетворення, оснований на ефекті Фарадея, зображену на рис. 2.1. Світло від джерела (1) проходить через конденсор (2) і поляризатор (3). Таким чином, через світлоділильну пластину (4) на чутливий елемент (5) у вигляді магнітоодновісної доменовмісної пластини або плівки із магнітооптичного матеріалу падає лінійно поляризована світлова хвиля. Світло відзеркалюється від зовнішньої грані пластини (5) і проходить через аналізатор (6). При цьому предметна площа (поверхня пластини) зображується об'єктивом (7) і реєструється датчиком телевізійного сигналу (8). Оптичне зображення на вході датчика, як правило

переводиться в електронну форму та оцифровується, що дозволяє виконувати додаткову програмну обробку з метою корекції оптичних спотворень та фільтрації шумів.

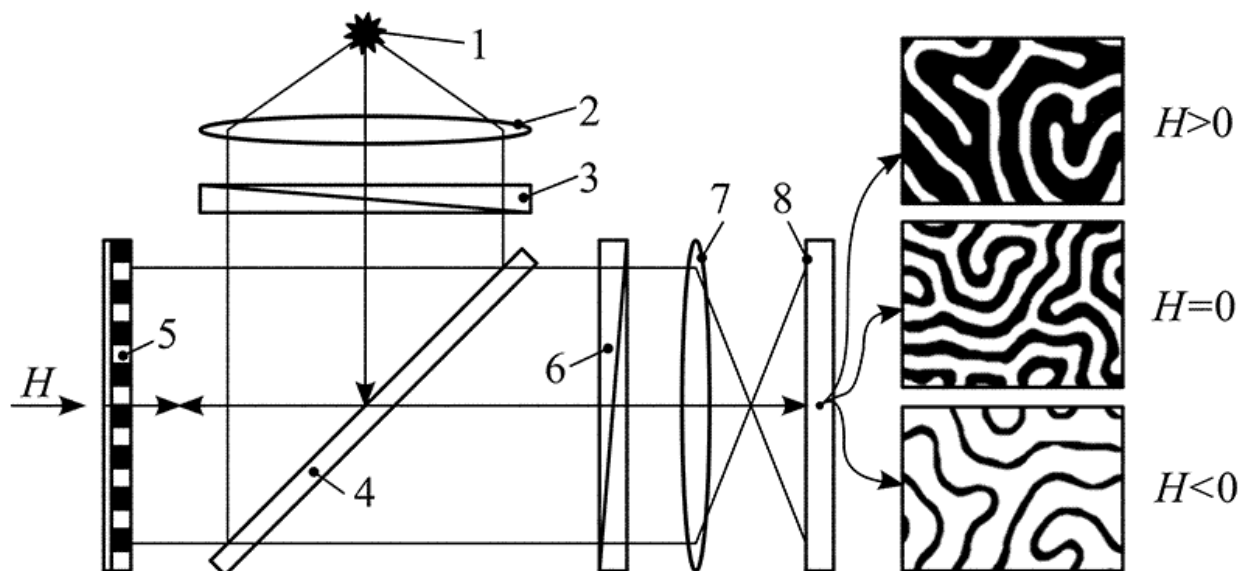


Рис. 2.1. Схема магнітооптичного перетворення.

При подвійному проходженні через магнітооптичне середовище плівки (5), завдяки ефекту Фарадея площина поляризації відзеркаленого світла, що попадає на аналізатор (6) в залежності від знаку намагніченості домену плівки повертається на деякий кут $\pm 2\Theta_F h$, де Θ_F — питоме фарадеєвське обертання, h — товщина МО пластини або плівки [22]. Аналізатор в свою чергу перетворює кути поляризації на просторовий розподіл яскравості світла, що реєструється датчиком (8).

За відсутності прикладеного магнітного поля ($H = 0$) домени перетворювача врівноважені. При намагнічуванні ($H < 0, H > 0$) площа доменів з невигідною орієнтацією скорочується. Таким чином, за відношенням площ протилежно орієнтованих доменів можна оцінити ступінь намагніченості плівки, що прямо пропорційна прикладеному до неї магнітному полю. Так для смужкової доменної структури в [17] визначається (2.1).

$$\frac{M}{M_s} = \frac{W_+ - W_-}{W_+ + W_-}, \quad (2.1)$$

де M — поточна намагніченість плівки, M_s — намагніченість насичення плівки,

W_+ — ширина смужкових доменів намагнічених по полю, W_- — ширина смужкових доменів намагнічених проти поля.

За основу для подальших теоретичних та експериментальних досліджень взято схему перетворення, яка включає у якості чутливого елемента (5) магнітооптичний перетворювач виконаний на основі гранат-феритної плівки (GFF), хімічний склад епітаксійного шару $(\text{Bi, Eu, Lu})_3(\text{Fe, Ga, Al})_5\text{O}_{12}$. Товщина плівки 4–5 мкм, ефективне поле — 3–3,5 кЕ, період доменної структури — 35–40 мкм, коерцитивність — 0,5–0,8 Е, питома Фарадеєвське обертання — 2,2–2,3 ° / мкм. Датчиком телевізійного сигналу (8) служить CMOS-відеокамера, яка має формат кадру 1280 × 1024 точок, що при розмірі поля зору 20 × 15 мм, забезпечує фізичний розмір точки зображення близько 16 мкм. Описана магнітооптична схема у подальшому розглядатиметься як чорний ящик “МО перетворювач”.

2.2 Математична модель взаємодії МО перетворювача з розсіяним магнітним полем дисперсних феромагнетиків та магнітним полем джерела компенсації

Відомі методи магнітооптичного топографування [17, 22, 25] використовуються для дослідження об’єктів із власним магнітним полем, зокрема систем NdFeB магнітів, які мають великі розміри та створюють відносно однорідне магнітне поле напруженістю від десятків до сотень кА/м. У той же час магнітні компоненти документів такі як елементи друку магнітною фарбою характеризуються високою дисперсністю магнітних часток, які можуть мати власне магнітне поле порядку одиниць А/м, або не мати його взагалі у випадку використання магнітом’яких матеріалів. Тому необхідно проаналізувати документ як об’єкт контролю магнітооптичної телевізійної системи.

Дисперсність структури ОК ускладнює інтерпретацію даних вимірювання, оскільки оцінюється результат взаємодії групи магнітних часток, модель якого продовжує удосконалюватись [66] і є предметом подальших

теоретичних досліджень. Вирішення задачі магнітних вимірювань ускладнюється також тим, що досліджувані в ОК магнітні фарби містяться на поверхні паперового носія у мікроскопічних кількостях при значній різноманітності параметрів рисунку фарби.

Поведінку групи магнітних часток (дисперсних феромагнетиків, які складають основу магнітної фарби в ОК) у прикладеному магнітному полі збудження можна описати за допомогою рівняння Лапласа для скалярного магнітного потенціалу відносно кожного сполучення форми, розмірів і орієнтації штриха фарби, властивостей матеріалу часток дисперсних феромагнетиків, їх форми, розмірів, взаєморозташування і орієнтації, величини і напрямку зовнішнього поля. В загальному випадку вирішення цього рівняння можна виконати тільки чисельними методами.

Можливий спрощений підхід до аналітичного вирішення задачі опису картини магнітної взаємодії для групи магнітних часток. Він ґрунтується на аналогії з моделями ідеалізованої магнітної сигналограми Мі-Бауера та Прейсаха, відомими з теорії магнітного запису [67 – 69].

Схема магнітної взаємодії в пропонованій моделі представлена на рис. 2.2. Вона включає контрольований документ у вигляді штрихів ідеалізованої магнітної фарби (1) шириною λ , товщиною D , які знаходяться на відстані 2δ ; магнітооптичний 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 магнітооптичний перетворювач; джерело магнітного поля компенсації (4) у вигляді системи котушок Гельмгольца, яке створює нормальне магнітне поле відомої величини та в суперпозиції з нормальною компонентою магнітного поля розсіяння документу утворює просторовий розподіл намагніченості в площині магнітооптичного датчика, орієнтація доменів якого схематично зображена чорним та білим кольором на рис. 2.2.

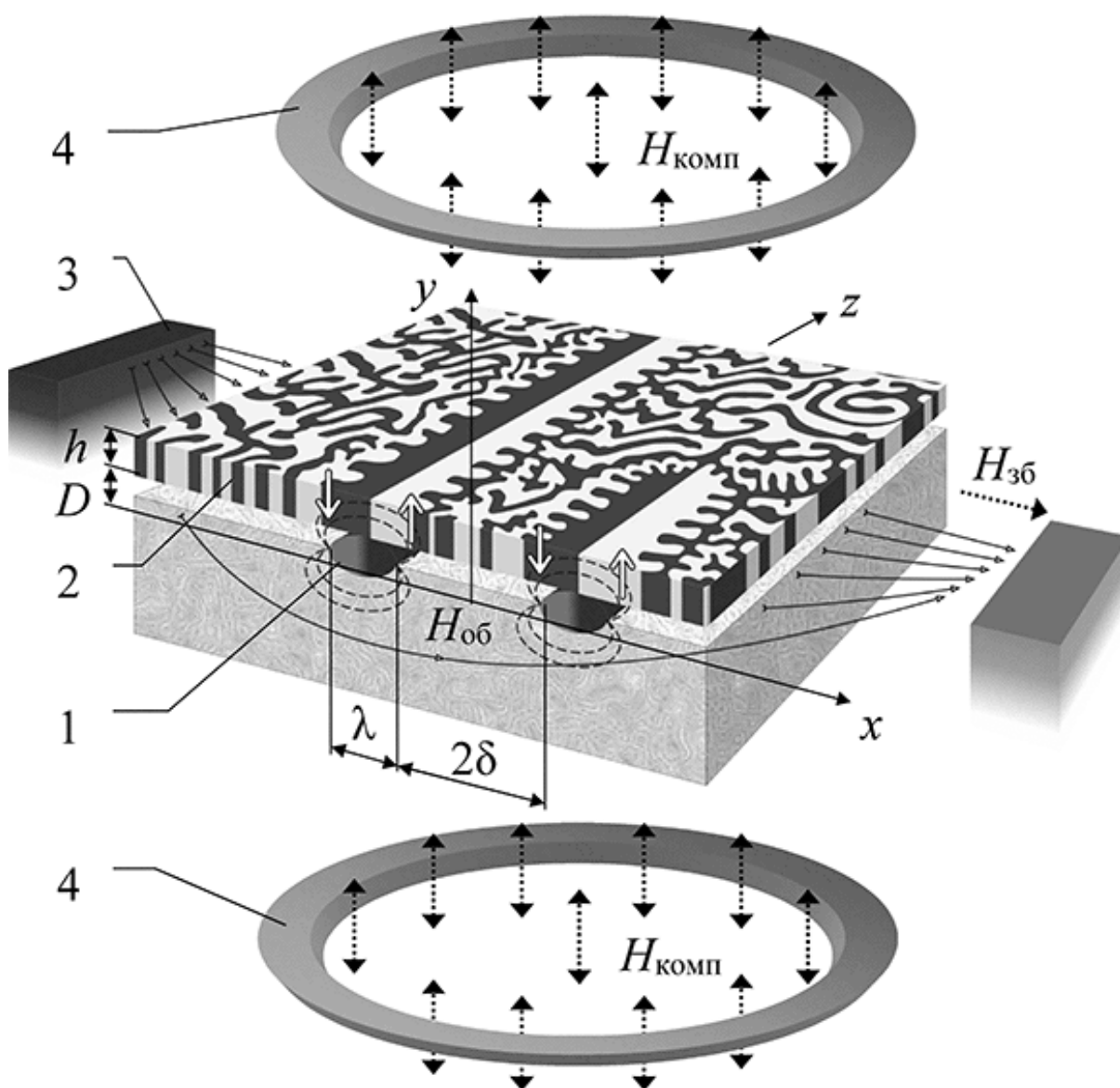


Рис. 2.2. Схема магнітної взаємодії в компенсаційному магнітооптичному вимірювачі напруженості магнітних полів розсіяння документів.

Ідеалізована магнітна фарба є конгломератом із однакових дисперсних часток феромагнітного матеріалу з магнітною проникністю μ_m , шароподібної форми, які рівномірно розподілені в об'ємі зв'язувальної діаманітної речовини з деякою концентрацією γ . Магнітна проникність такого конгломерату оцінюється в [69] як (2.2).

$$\mu_{об} = 1 + \frac{3\gamma(\mu_m - 1)}{3 + (\mu_m - 1) \cdot (1 - \gamma)} \quad (2.2)$$

Отже, в результаті ефектів саморозмагнічування, магнітної взаємодії і малої концентрації магнітна проникність фарби-конгломерату на основі

магнітом'яких та магнітотвердих феромагнетиків знаходиться у досить вузькому діапазоні $\mu_{об} \approx 1,2-2,5$, не дивлячись на суттєві відмінності магнітної проникності μ_m вихідних феромагнітних матеріалів. Так, магнітна проникність конгломерату на основі магнітотвердого гамма-окислу заліза $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ ($\mu_m = 2$) при концентрації 30% ($\gamma = 0,3$) становить $\mu_{об} = 1,24$, а конгломерату на основі магнітом'якого карбонільного заліза $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ($\mu_m = 15000$) при концентрації 30% ($\gamma = 0,3$) становить $\mu_{об} = 2,29$.

Встановимо, що для ідеалізованої магнітної фарби виконуються умови: намагніченість однорідно розподілена по товщині штриха, магнітна фарба складається із однорідних часток і утворює лінійне магнітне середовище з постійною величиною оборотної магнітної проникності $\mu_{об}$.

Магнітооптичний тонкоплівковий перетворювач товщиною h , віддалено від контрольованої поверхні на відстань D . Зовнішнє джерело магнітного поля збудження напруженістю $H_{збуд}$ викликає намагнічування часток дисперсних феромагнетиків і породжує навколо них магнітні поля розсіяння. Магнітне поле збудження $H_{збуд}$ прикладається в площині документа, паралельній площині магнітооптичного перетворювача. Впливом $H_{збуд}$ на перетворювач можна знехтувати через його високу анізотропію за однією віссю. У той же час магнітні поля розсіяння документу містять нормальну компоненту, яка діє вздовж легкої осі магнітооптичного перетворювача і викликає відповідну перебудову його смугової доменної структури.

Досліджувану нормальну компоненту полів розсіяння документу можна оцінити за величиною прикладеного зустрічно однорідного магнітного поля $H_{комп}$ в момент компенсації руху доменних стінок в деякій області магнітооптичного перетворювача.

Найбільший інтерес виявляють крайові області магнітних штрихів, де досліджувана нормальна компонента приймає найбільші значення. Із робіт присвячених теорії магнітного запису [67 – 69] і магнітного контролю [70] відомі аналітичні рішення для розрахунку полів розсіяння деяких намагнічених об'єктів простої форми в необмеженому просторі з постійною магнітною

проникністю. Данні результати отримані на основі рішення рівнянь Максвела $\text{div } \mathbf{B} = 0$, $\text{rot } \mathbf{H} = 0$, з урахуванням граничних умов:

- $H_1^\tau = H_2^\tau$ — неперервність тангенціальної складової магнітного поля на границі середовища штриха і простору;
- $B_1^n = B_2^n$ або $\mu_1 H_1^n = \mu_2 H_2^n$ — неперервності нормальної складової магнітної індукції ($\mu_1 = \mu_{\text{об}}$ — магнітна проникність середовища штриха, μ_2 — магнітна проникність простору).

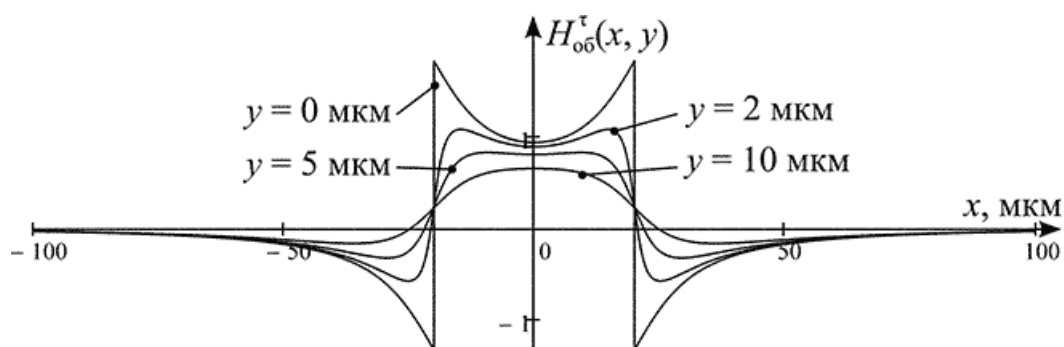
Для об'єкту, що містить широкі магнітні штрихи ($\lambda \ll 2\delta$), за умови однорідного розподілу поверхневих зарядів на їх гранях, отримані наступні вирази для тангенціальної та нормальної складових поля розсіяння об'єкту: (2.3) та (2.4), де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнітна стала.

$$H_{\text{об}}^\tau = \frac{B_{\text{об max}}^n}{2\pi\mu_0\mu_{\text{об}}} \cdot \left[\text{arctg} \frac{D \cdot (x + \delta)}{(x + \delta)^2 + y(y + D)} - \text{arctg} \frac{D \cdot (x - \delta)}{(x - \delta)^2 + y(y + D)} \right]. \quad (2.3)$$

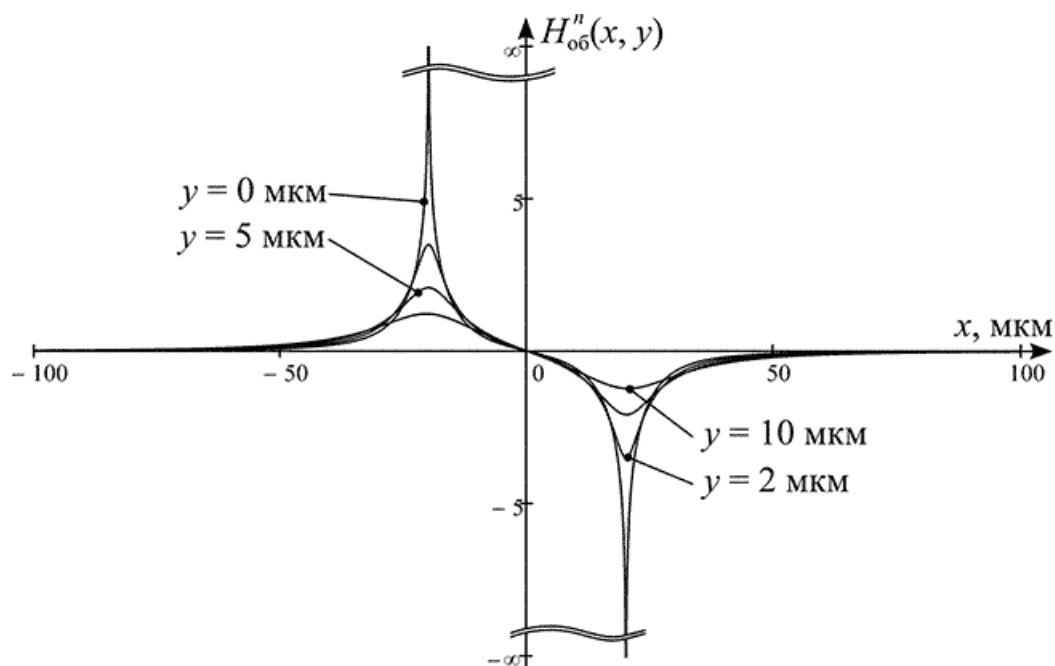
$$H_{\text{об}}^n = \frac{B_{\text{об max}}^n}{\pi\mu_0\mu_{\text{об}}} \cdot \ln \left[\frac{(x + \delta)^2 + (y + D)^2}{(x + \delta)^2 + y^2} \cdot \frac{(x - \delta)^2 + y^2}{(x - \delta)^2 + (y + D)^2} \right]. \quad (2.4)$$

На рис. 2.3 приведено графіки нормованих функцій $H_{\text{об}}^\tau$ та $H_{\text{об}}^n$ отримані із співвідношень (2.3) та (2.4) для параметрів $D = 10$ мкм, $\delta = 25$ мкм, в діапазонах аргументів $-100 \leq x \leq 100$, $0 \leq y \leq 10$ (мкм). Їх аналіз показує значимість контактних умов об'єкта контролю і магнітооптичного перетворювача для адекватної оцінки магнітних характеристик, розмірів і форми магнітних штрихів. Похибку вимірювання $H_{\text{об}}$ викликану неконтактом ($y \neq 0$) можна виправити у випадку відомих значень D і h ($y = D + h/2$). Зокрема, для оцінки D може використовуватись інтерференційний метод, як запропоновано в роботі [71].

У випадку вузького або одинарного штриха ($\lambda \ll 2\delta$) намагніченої фарби просторовий розподіл індукції $B_{\text{об}}$, що є функцією аргументів y та λ , в області $0 \leq x \leq \lambda$, по аналогії з періодом магнітної сигналограми [68] можна описати співвідношенням Уоллеса для неконтакту (2.5).



а — тангенціальна компонента $H_{об}$



б — нормальна компонента $H_{об}$

Рис. 2.3. Розподіл напруженості магнітного поля в області штрихів магнітної фарби

$$B_{об} = B_{об\max}^n e^{-\frac{2\pi y}{\lambda}}. \quad (2.5)$$

Де $B_{об\max}^n$ — амплітуда поверхневої індукції на лицевій стороні магнітного штриха (магнітного носія).

Тобто, амплітуда індукції $B_{об}$ магнітних полів розсіяння об'єкта контролю в середньому перерізі магнітооптичного перетворювача ($y = D + h/2$) затухає в $e^{-2\pi(D+h/2)/\lambda}$ разів відносно значення на поверхні магнітного штриха $B_{об\max}^n$ та інтенсивність затухання збільшується зі зменшенням λ . При цьому, нормальна і тангенціальна компоненти індукції $B_{об}$ дорівнюють (2.6) і (2.7) відповідно.

$$B_{об}^n = B_{об\max}^n e^{-\frac{2\pi y}{\lambda}} \cdot \cos \frac{2\pi x}{\lambda}. \quad (2.6)$$

$$B_{об}^\tau = B_{об\max}^n e^{-\frac{2\pi y}{\lambda}} \cdot \sin \frac{2\pi x}{\lambda}. \quad (2.7)$$

Поверхнева магнітна індукція $B_{об\max}^n$, як параметр (2.3–2.7), залежить від амплітуди намагніченості носія $M_{об\max}$, його товщини D та ширини штриха λ (2.8).

$$B_{об\max}^n = \frac{\pi D}{\lambda} \cdot \mu_0 \int_0^D M_{об\max} \cdot e^{-\frac{2\pi y}{\lambda}} \cdot dy = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot M_{об\max} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2\pi D}{\lambda}} \right) \quad (2.8)$$

Останній співмножник виразу (2.8) представляє функцію шарових втрат, яка показує, що зі збільшенням товщини шару фарби D або зі зменшенням розміру часток дисперсного феромагнетика d зростає частина потоку, утвореного глибинними шарами носія, яка замикається всередині нього і не приймає участі в утворенні результатної поверхневої індукції.

Амплітуда намагніченості носія $M_{об\max}$ (2.8) визначається напруженістю магнітного поля збудження $H_{зб}$, залишкової попередньої намагніченості $M_{об0}$ та величиною його магнітної проникності $\mu_{об}$ (2.9).

$$M_{об\max} = M_{об0} + (\mu_0 - 1)H_{зб} \quad (2.9)$$

Отже, в середньому перерізі магнітооптичного перетворювача ($y = D + h/2$) 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 поля відношенням (2.10).

$$B_{об}^n = \mu_0 \cdot (\mu_{МО} H_{об}^n + M_{МО0}) \quad (2.10)$$

Очевидно, що за умови намагнічування матеріалу до стану насичення ($H_{зб} \geq H_s$) і використання низькокоерцитивних плівок магнітооптичного перетворювача ($H_{СМО} \rightarrow 0$), в виразах (2.9 – 2.10) залишковою попередньою намагніченістю $M_{об0}$ та $M_{МО0}$ можна знехтувати.

Прикладені до магнітооптичного перетворювача магнітні поля розсіяння об'єкта контролю своєю нормальною компонентою $(H_{об}^n, B_{об}^n)$ викликають вимушене формування врівноваженої смужкової доменної структури, при цьому, як показано в роботі [18], діапазон перестроювання власної доменної структури епітаксійної плівки ферит-граната залежить від частотних властивостей магнітооптичного перетворювача, а також від амплітудних і частотних властивостей об'єкта контролю. Так, при рівноважному періоді доменної структури плівки d_0 діапазон вимушеного перестроювання доменної структури від d_{min} до d_{max} приблизно оцінюється співвідношенням (2.11) [72].

$$d_{min,max} \approx \frac{d_0}{1 \pm 1,22 \cdot \sqrt{\frac{H_{об}^n}{M_{MOS}}}}. \quad (2.11)$$

Де $4\pi M_{MOS}$ — намагніченість насичення плівки.

Експериментальна оцінка просторового розподілу амплітуд магнітних полів розсіяння об'єкта контролю має виконуватися за методикою [17, 22] 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 за (2.12) [17].

$$H_{об}^n(x) = -H_{комп}^n - H_{\sigma}(x) - H_N^n(x), \quad (2.12)$$

де $H_{\sigma}(x)$ — ефективне поле, $H_N^n(x)$ — середня нормальна складова поля розмагнічування. Оскільки значення величин $H_{\sigma}(x)$ та $H_N^n(x)$ малі, їх часто відносять до похибок топографування та використовують величину компенсаційного поля $H_{комп}^n$ в якості оцінки нормальної компоненти $H_{об}^n$ магнітних полів розсіяння об'єкта контролю (2.13).

$$H_{об}^n(x) \approx -H_{комп}^n. \quad (2.13)$$

Для забезпечення бажаного динамічного діапазону вимірювання $H_{об}^n$, окрім умов адекватності діапазону вимушеного перестроювання доменної структури (2.11), слід також забезпечити необхідний динамічний діапазон напруженостей компенсаційного поля (2.14).

$$\begin{cases} H_{комп\ min}^n \geq H_{СМО}, \\ H_{комп\ max}^n \geq H_{об\ max}^n. \end{cases} \quad (2.14)$$

Джерелом компенсаційного поля $H_{комп}^n$ у моделі, що розглядається, є котушка індуктивності (або їх комбінація), яка живиться заданим значення струму $I_{комп}$. Для пласкої багатовиткової котушки напруженість магнітного поля на її осі визначається співвідношенням (2.15).

$$H_{комп}^n = \frac{I_{комп} W}{2R} \left(1 + \left(\frac{l}{R} \right)^2 \right)^{-1,5}, \quad (2.15)$$

де R — радіус витка, W — число витків, l — відстань від точки спостереження до центру витка.

Для системи котушок Гельмгольца на відстані z від центру системи по її осі (відстані від центрів котушок дорівнюють $|R/2 \pm z|$) напруженість магнітного поля визначається співвідношенням (2.16).

$$H_{комп}^n = \frac{I_{комп} W}{2R} \left[\left(1 + \left(\frac{1}{2} + \frac{z}{R} \right)^2 \right)^{-1,5} + \left(1 + \left(\frac{1}{2} - \frac{z}{R} \right)^2 \right)^{-1,5} \right] \quad (2.16)$$

Очевидно, що діапазон зміни компенсаційного струму $I_{комп}$ повинен забезпечувати необхідний динамічний діапазон напруженостей компенсаційного поля ($H_{комп\ min}^n \geq H_{СМО}$, $H_{комп\ max}^n \geq H_{об\ max}^n$). При цьому за відомим значенням струму компенсації визначається індукція магнітного поля об'єкта контролю (2.17).

$$I_{комп}^n \sim H_{комп}^n \sim B_{комп}^n \approx -B_{об}^n \quad (2.17)$$

Але, враховуючи порівняно низькі значення намагніченості насичення магнітооптичного датчика, які викликають нелінійні спотворення, за його зо-

браженням можна оцінити лише справедливність співвідношення $B_{об}^n > k \cdot I_{комп}$, де k — коефіцієнт пропорційності $I_{комп} \sim B_{комп}$. Тому кількісна магнітооптична оцінка магнітних властивостей документу — це ітераційний процес формування набору зображень об'єкта контролю під дією різних рівнів квантування $I_{комп}$, з подальшим синтезом зображення контрольованої площини з градуйованими значеннями яскравості його точок $\bar{L}(x, y) \sim B_{об}^n(x, y)$.

2.3 Удосконалений метод магнітооптичного топографування, що забезпечує отримання сигналу двовимірною розподілу розсіяного магнітного поля елементів документа у матричній цифровій формі.

Відповідно до взятого за основу методу магнітографування у прикладеному компенсаційному магнітному полі [22] удосконалено метод магнітооптичного контролю документів з урахуванням особливостей магнітних властивостей документів та їх впливу на магнітооптичний перетворювач, проаналізованих вище. Функціональну схему системи, що його реалізує подано на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Функціональна схема системи, що реалізує удосконалений метод топографування просторового розподілу магнітного поля документів.

Документ, як плоский об'єкт контролю, що характеризується власним просторовим розподілом магнітної проникності $\mu_{об}(x, y)$ намагнічується під дією джерела магнітного поля збудження $H_{зб}$, що діє перпендикулярно легкій вісі намагнічування магнітооптичної плівки і тому не впливає на магнітооптичну плівку. За рахунок девіації магнітної проникності в площині

документу утворюється нормальний до плівки розподіл магнітної індукції $B_{об}(x, y)$, який діє на плівку за її легкою віссю намагнічування.

Джерело компенсації у вигляді котушки індуктивності керується послідовністю знакозмінних імпульсів струму з амплітудою, що лінійно спадає (рис. 2.5). 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. Обрана послідовність рівнів квантування знижує вплив хоч і низької, але ненульової коерцитивної сили магнітооптичної плівки на результати магнітного контролю документів. Такий підхід відомий з теорій магнітного запису, що описують процеси розмагнічування та високочастотного підмагнічування магнітного носія та випробуваний на магнітооптичних плівках в роботі [58].

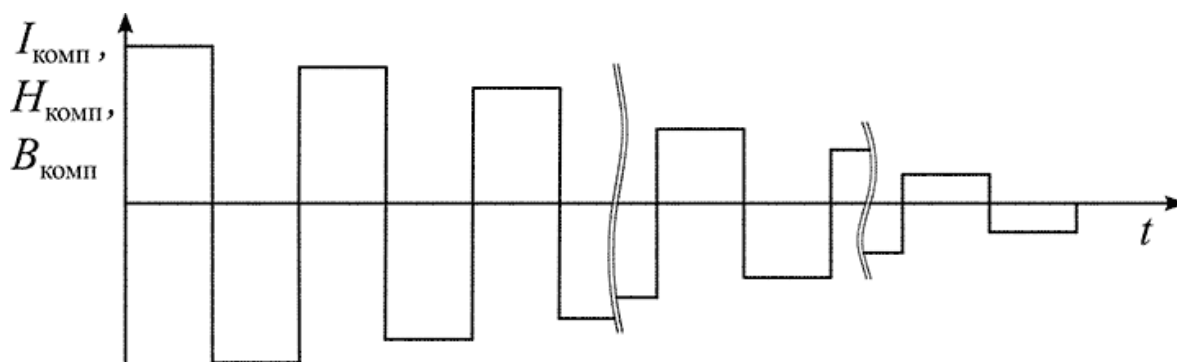


Рис. 2.5. Часова діаграма амплітуд струму джерела компенсації.

На виході магнітооптичного перетворювача утворюється набір розподілів яскравості світла $L(x, y, i)$ (зображень) контрольованої площини документу, які залежать від прикладеної до магнітооптичної плівки магнітної індукції $B_{\Sigma}(x, y, i)$. Приклад отримуваних зображень подано на рис. 2.6 для випадку, коли об'єктом контролю виступає немагнітний паперовий носій зі штрихами магнітотвердої фарби. Тут застосовано лише 6 рівнів квантування $B_{комп}$.

Отримувані зображення фіксуються телевізійною системою контролю, де вони проходять спеціальну обробку, у т. ч. корекцію оптичних спотворень, фільтрацію шумів датчика телевізійного сигналу, а також шумів лабіринтової доменної структури магнітооптичного перетворювача, після чого

бінаризуються. Таким чином кожне з оброблених зображень має лише два кольори — чорний і білий, які відповідають орієнтації доменів магнітооптичної плівки. В даному випадку вважаємо, що поляризаційна оптична схема налаштована таким чином, що позитивне магнітне зміщення джерела компенсації, тобто намагнічування магнітної плівки, викликає чорне забарвлення точок оптичного зображення.

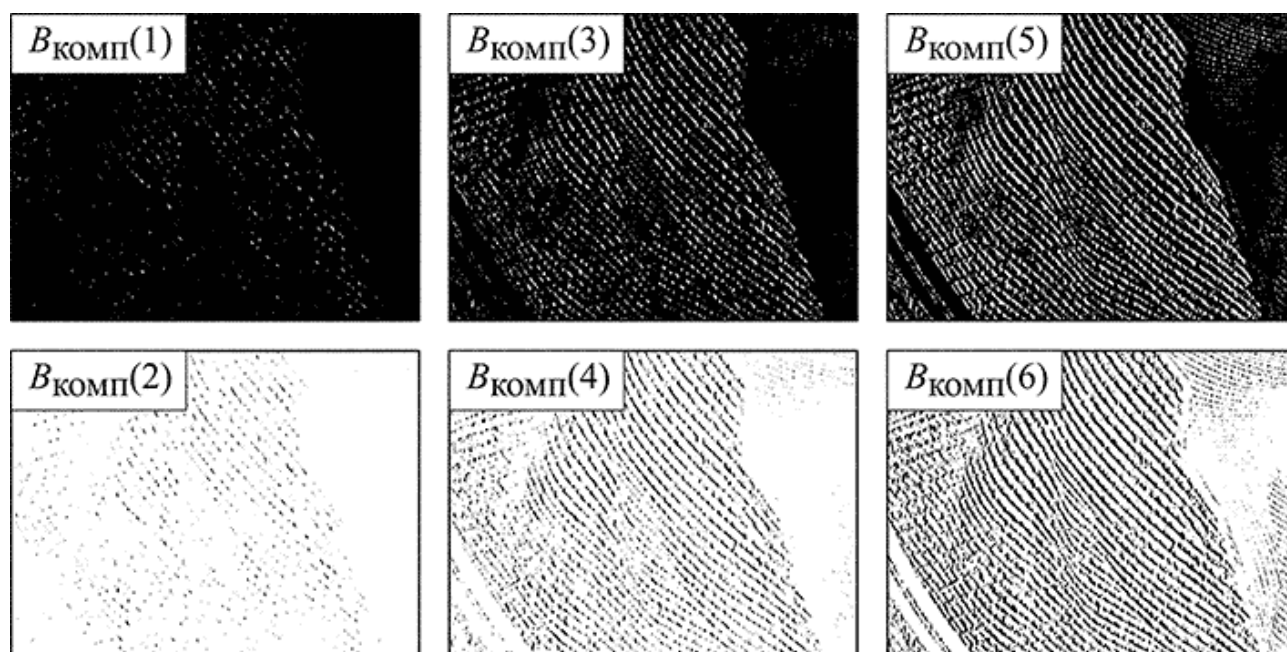


Рис. 2.6. МО зображення об'єкта контролю під дією різних полів компенсації.

З рис. 2.6 видно, що при позитивному зміщенні джерела компенсації ($B_{\text{комп}}(1)$, $B_{\text{комп}}(3)$, $B_{\text{комп}}(5)$) не всі точки зображення мають чорний колір, оскільки в білих точках індукція магнітного поля об'єкта контролю більша за модулем і протилежна за знаком. Аналогічно виглядають і зображення при негативному зміщенні джерела компенсації ($B_{\text{комп}}(2)$, $B_{\text{комп}}(4)$, $B_{\text{комп}}(6)$) зі зміною напрямку орієнтації доменів магнітооптичної плівки, і, відповідно, кольорів зображення її візуалізації. Чим більша амплітуда джерела компенсації, тим менше точок об'єкта контролю здатні перемагнічувати магнітооптичну плівку в зворотньому напрямку. Аналізуючи кожне зображення можна зробити висновок про величину магнітної індукції в точках контрольованої площини.

У відомому методі [17] подібні зображення фіксуються на мікрофотографіях, за якими вручну будується топограма ліній рівної

напруженості магнітного поля області контролю. Її імітація для випадку контролю документів представлена на рис. 2.7. Оскільки документ має велику кількість штрихів, інтерпретація топограми у вигляді ліній рівної напруженості (ЛРН) магнітного поля вкрай утруднена. При кількісному контролі магнітних параметрів документів необхідно не тільки вимірювати просторові розподіли магнітного поля, а і виконувати їх спеціальну обробку з метою порівняння та класифікації документів за цими розподілами. Аналоговий спосіб представлення топографічної інформації у вигляді ЛРН не прийнятний для обробки сучасними обчислювальними пристроями. Тому в удосконаленому методі використовується інший підхід до формування вихідних даних вимірювання.

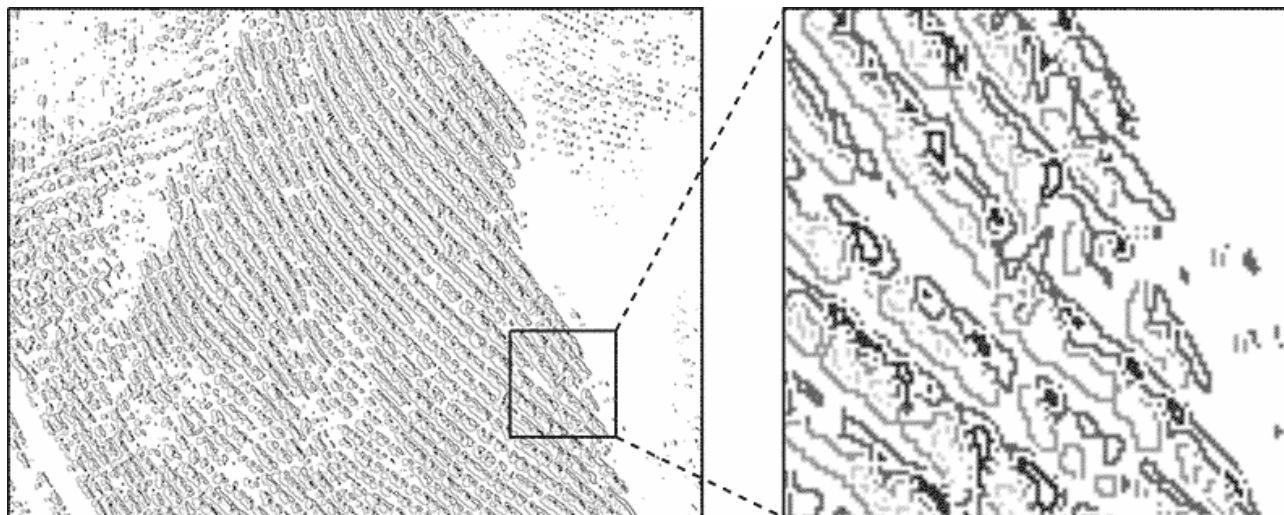


Рис. 2.7. Складність побудови і аналізу даних вимірювань відомим методом для імітованого прикладу топографування магнітного поля документу з шістьма рівнями квантування.

Масивом експериментальних даних для оцінки розподілу $B_{об}(x, y)$ виступає магнітооптичне зображення області контролю, отримане в результаті усереднення отриманих кадрів $L(x, y, i)$, введених з відмінними, градуйованими по амплітуді значеннями компенсаційного магнітного поля $B_{комп}(i)$ (рис. 2.8), таким чином можна визначити величину магнітної індукції в кожній точці контрольованої області. Дані вимірювань зберігаються в двовірному масиві, та можуть оброблятися обчислювальною технікою з метою кількісного контролю

(порівняння і класифікації) документів.

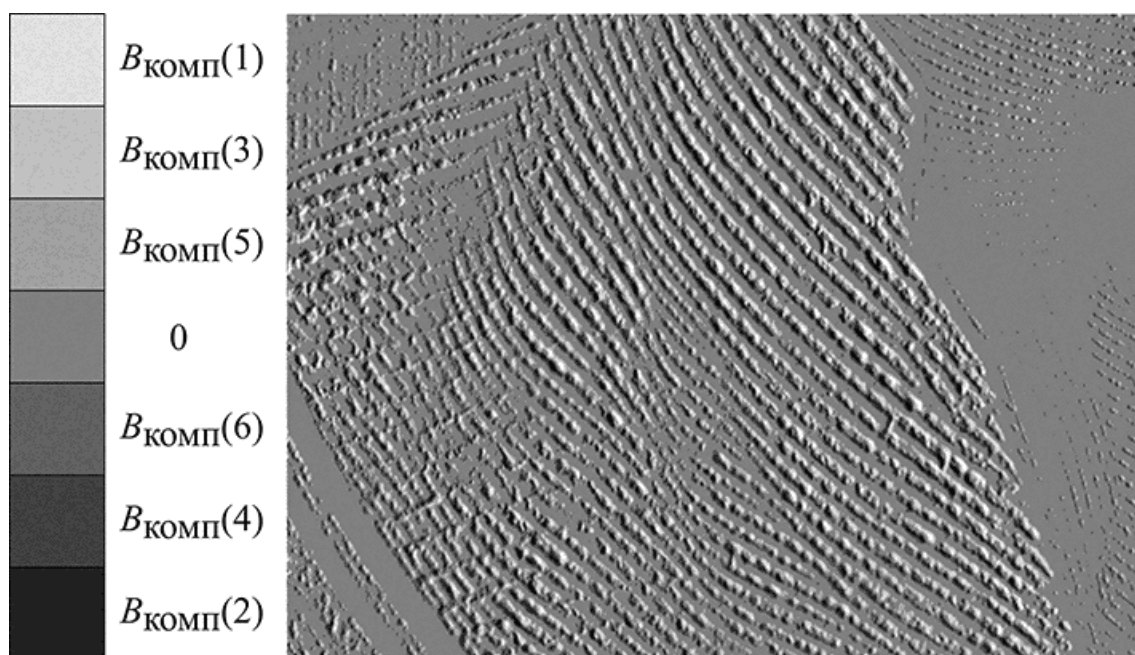


Рис. 2.8. Фінальне зображення просторового розподілу $B_{об}(x, y)$.

За даними цього зображення розраховується модуль нормального магнітного потоку Φ крізь площину S область контролю. При цьому використовується формула (2.19), що є наслідком фізичного визначення (2.18).

$$\Phi = \int_S B \cdot \cos \alpha \cdot dS \quad (2.18)$$

$$|\Phi^n| = \sum_i |B_{комп}(i)| \cdot n_i \cdot S \quad (2.19)$$

Де S — фізичний розмір (площа) точки зображення, n_i — кількість точок зображення переманічених відповідним полем компенсації $B_{комп}(i)$.

Удосконалений метод магнітооптичного топографування за рахунок застосування допоміжного джерела збудження дозволяє отримувати інформаційний сигнал магнітних елементів документу, що детектується МО перетворювачем. Із застосуванням телевізійної системи, яка за рахунок дискретизації сигналу зображення просторового розподілу магнітних полів та використання електронно-обчислювальної техніки для його формування і обробки, значно знижується трудомісткість топографування. Форма подання даних вимірювання магнітних параметрів документів на виході МОТС дає змогу виконувати кількісні контрольні оцінки при подальшій обробці

обчислювальними системами.

Дані вимірювань використовуються експертами для порівняння документів, тому повинен існувати певний показник магнітної подібності документів. Грубим інтегральним показником магнітної оцінки може служити обчислюваний модуль магнітного потоку досліджуваної області $|Φ'|$. Для більш точної оцінки подібності документів слід використовувати порівняння їх розподілів $B_{об}(x, y)$, але при великій кількості рівнів квантування, враховуючи високу частоту чергування магнітно-гетерогенних компонентів документу та складність позиціювання системи на одній і тій же області контролю документу пряме порівняння розподілів $B_{об}(x, y)$ зустрічає значні складнощі.

Висновки до другого розділу

1. Опис поведінки групи магнітних часток, що містяться на поверхні паперового носія, у прикладеному магнітному полі збудження за допомогою рівняння Лапласа для скалярного магнітного потенціалу відносно кожного сполучення форми, розмірів, взаєморозташування та властивостей матеріалу часток дисперсних феромагнетиків зустрічає значні складнощі. Тому доцільно використати спрощений підхід до аналітичного вирішення задачі опису картини магнітної взаємодії для групи магнітних часток, що ґрунтується на аналогії з моделями ідеалізованої магнітної сигналограми Мі-Бауера та Прейсаха, який використовується в галузі магнітного запису.

2. За результатами моделювання взаємодії поля штрихів магнітної фарби та компенсаційного поля в площині магнітооптичного перетворювача встановлено, що напруженість магнітного поля джерела компенсації рівна за амплітудою та протилежна за знаком напруженості поля розсіяння документу. При цьому значення ефективного поля та середньої нормальної складової поля розмагнічування відносяться до похибок топографування.

3. Для дослідження документів максимальна амплітуда напруженості магнітного поля джерела компенсації повинна перевищувати напруженість поля розсіяння документу в площині магнітооптичного перетворювача, а мінімаль-

на — має бути вищою за коерцитивну силу перетворювача, значення якої у свою чергу має бути якомога меншим.

4. Струм джерела компенсації прямо пропорційний від'ємному значенню індукції магнітного поля документу, тому у врівноважених областях магніто-оптичного зображення завдяки суперпозиції магнітних полів документу і джерела компенсації сумарна індукція магнітного поля дорівнює нулю, а значення індукції магнітного поля документу цілком визначається струмом джерела компенсації.

5. Удосконалений метод топографування полягає в отриманні набору МО зображень магнітного поля документу під дією різних значень поля компенсації та їх сумісній обробці, після чого отримуються дискретизовані значення двовимірної розподілу нормальної компоненти індукції магнітного поля області контролю $B_{об}(x, y)$ та модуль нормального магнітного потоку $|\Phi''|$ крізь область контролю в придатному для подальшої обробки обчислювальними системами вигляді.

6. Значення магнітного потоку $|\Phi''|$ дає змогу проводити грубе порівняння документів. Враховуючи високу частоту чергування магнітно-гетерогенних компонентів документів та складність їх позиціонування, порівняння документів за просторовими розподілами магнітної індукції $B_{об}(x, y)$ потребує наявності ефективного показника подібності документів з низькою чутливістю до похибок позиціонування та відмінностей магнітного рисунку порівнюваних областей.

3. ОБРОБКА ДАНИХ МАГНІТООПТИЧНОЮ ТЕЛЕВІЗІЙНОЮ СИСТЕМОЮ КІЛЬКІСНОГО КОНТРОЛЮ МАГНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ ДОКУМЕНТІВ

3.1 Класифікація двовимірних розподілів магнітного поля документів для забезпечення їх кількісного контролю.

Основною задачею кількісного контролю документів є порівняння документів з метою виявлення їх фальсифікацій. В загальному випадку при порівнянні документів виконується задача їх класифікації, а саме — встановлення належності отриманих даних кількісного контролю магнітних параметрів документу до класу оригінальних. Таким чином при аналізі даних просторового розподілу магнітної індукції документів з різними магнітними властивостями, насамперед різною дисперсією магнітних часток, а також різною величиною намагніченості насичення M_s компонентів документів, їх можна класифікувати, як автентичні або фальшиві.

Як показано в попередньому розділі, магнітооптична телевізійна система дає змогу отримати просторовий розподіл нормальної складової індукції магнітного поля контрольованої області документу $B_{об}(x, y)$. При цьому існує деяка дисперсність вимірюваних значень магнітної індукції, що обумовлюється, по-перше, дисперсним характером розміщення магнітних часток, що визначає належність документу певному класу, по друге, спотвореннями і шумами самої системи, похибками її позиціонування, по-третє дисперсією значень магнітної індукції контрольованих документів. Остання може бути викликана похибками виготовлення документів, а також зміною магнітних параметрів документів в процесі експлуатації, наприклад, геометричні перетворення конфігурації магнітних часток під час тертя. Якщо за дисперсією магнітних часток документів можна виконувати їх класифікацію, що і є задачею контролю, то інші чинники дисперсії $B_{об}(x, y)$ негативно впливають на результат контролю.

Класифікація документів шляхом візуального контролю експертом розподілів $B_{об}(x, y)$ представлених світловим розподілом ускладнена через

високу частоту чергування їх магнітних та немагнітних складових, крім того такий контроль є суб'єктивним, отже існує необхідність порівняння різних оцінок $B_{об}(x, y)$ за деяким кількісним показником розбіжності, при цьому слід врахувати дисперсію значень $B_{об}(x, y)$.

Тому розроблено спеціальний метод кількісного контролю магнітних параметрів документів (рис. 3.1), який включає:

1. Вимірювання просторових розподілів магнітного поля $B(x, y)$ еталонних і контрольованого документів запропонованим вище методом.

2. Обчислення функцій $f(B)$, що характеризують магнітні параметри документів (насамперед, дисперсність розміщення магнітних часток) 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.

З метою теоретичного дослідження ефективності можливих способів представлення $f(B)$ і порівняння d даних вимірювань магнітних параметрів документів $B_{об}(x, y)$ змодельовано розподіли магнітної індукції трьох документів (Об'єкт 1, Об'єкт 2, Об'єкт 3) з урахуванням імовірної дисперсії отримуваних значень. При цьому дані, що закладаються в моделі об'єктів, мають свідчити про відмінність їх магнітних параметрів таким чином, щоб вони належали до класів відповідно таблиці 3.1. 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, так частина напису "50", виділена чорним прямокутником на рис. 3.2, банкноти €50 виконана магнітними штрихами саме з такими розмірами. При чому дисперсія магнітних складових модельованих об'єктів класу оригінальних

менша ніж класу фальшивих, як видно з рисунків таблиці 3.1. Крім того вертикальні лінії об'єкту 3 зміщені горизонтально на 15 мкм в області дослідження, що імітує похибку позиціонування об'єкту та магнітооптичної телевізійної системи і не повинно створювати завад у віднесенні об'єктів 2 і 3 до одного класу, як “виготовлених” з магнітної фарби одного типу.

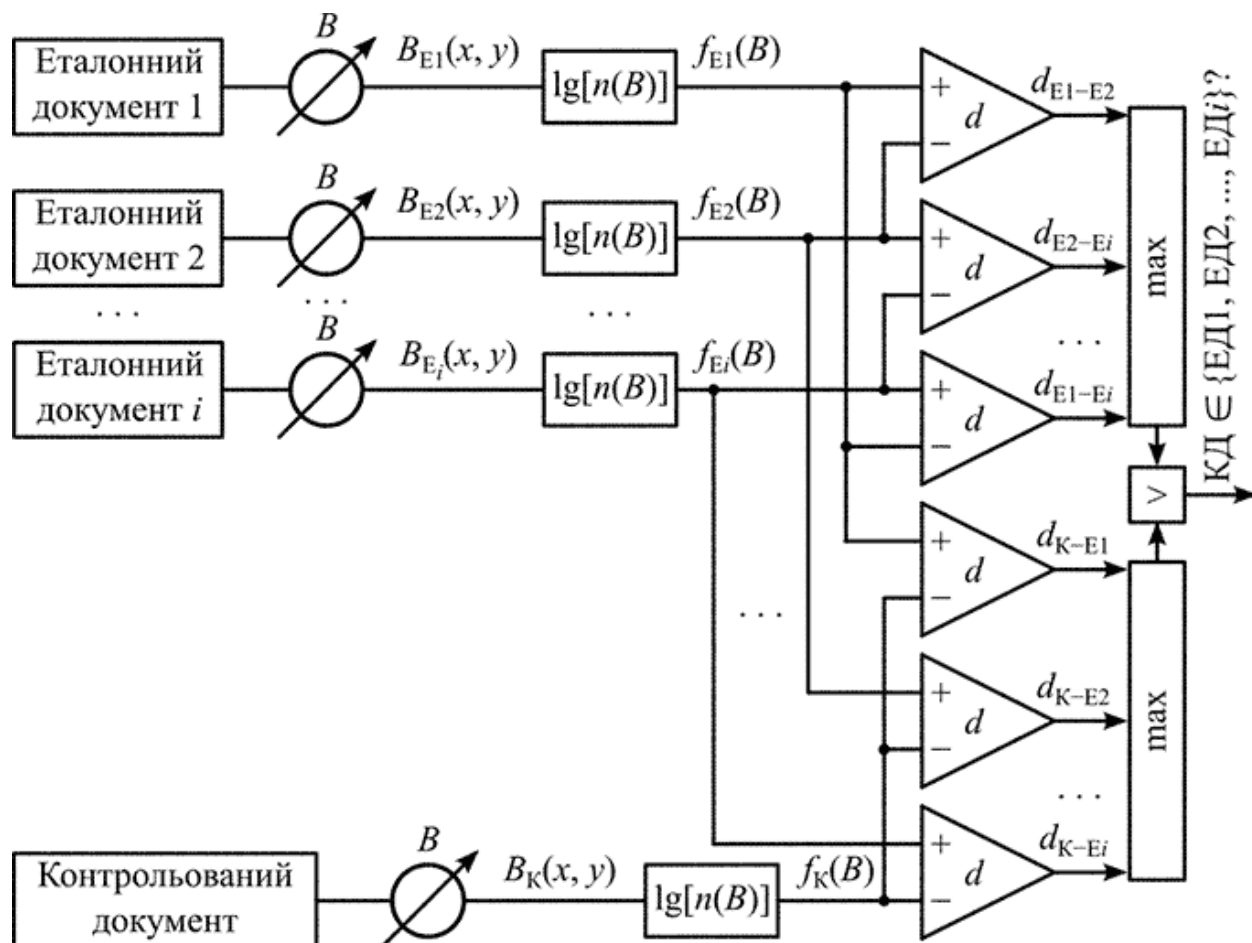


Рис. 3.1. Функціональна схема методу кількісного контролю магнітних параметрів документів.

Моделювання розподілу $B_{об}(x, y)$ об'єктів виконано за (2.4), в просторі 600×450 точок з фізичним розміром 16 мкм, аналогічно прийнятій системі магнітооптичного перетворення (розділ 2.1). Для моделювання нерівномірності концентрації магнітних компонент у фарбі, тобто її дисперсії, значення поверхневої магнітної індукції $B_{об\max}^n$ змінюється вздовж кожної лінії з певними властивостями.

Таблиця 3.1. Модельовані об'єкти контролю.

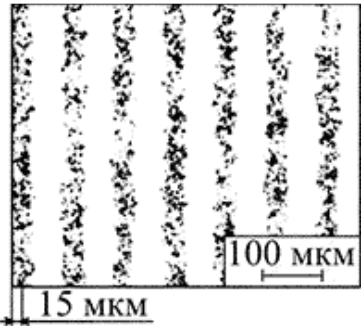
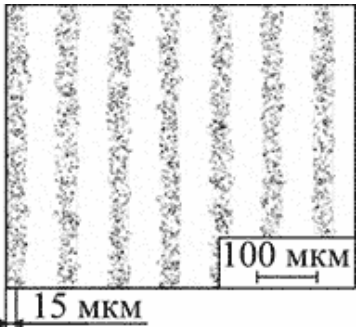
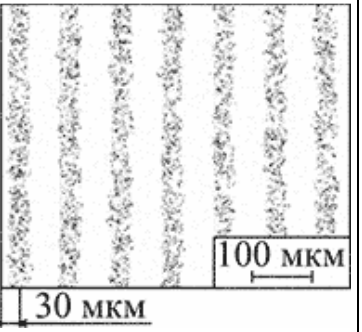
Об'єкт	1	2	3
Розміщення магнітних складових			
Клас (дисперсія)	Фальшиві ($s^2(B_{об\ max})=1,6\ \text{мТл}^2$)	Оригінальні ($s^2(B_{об\ max})=0,16\ \text{мТл}^2$)	



Рис. 3.2. Область реального магнітного друку характерними штрихами.

Сигнал $B_{об\ max}^n(y)$ вздовж ліній формується наступним чином. В кожній точці у лінії значення $B_{об\ max}^n$ приймає випадкову величину від 0 до 10 мТл з рівномірним розподілом (рис. 3.3, а), потім розподіли $B_{об\ max}^n$ вздовж кожної лінії фільтруються віконним фільтром з одиничними коефіцієнтами. При чому, розмір вікна цього фільтра для об'єкту 1 становить 5 точок (рис. 3.3, б), а для об'єктів 2 і 3 — 61 точка (рис. 3.3, в).

Таким чином імітуються різні типи фарб з відмінною дисперсією магнітних часток. Об'єкти 2 і 3 “надруковані” однією фарбою і належать до класу оригінальних, а об'єкт 1 — іншою і є фальшивим, що має виявлятися в

процесі порівняння даних кількісної оцінки їх магнітних параметрів. Окрім дисперсії магнітних параметрів модельованих об'єктів до сигналу зображення телевізійної системи додається адитивний шум з нормальним розподілом амплітудою 0,3 мТл.

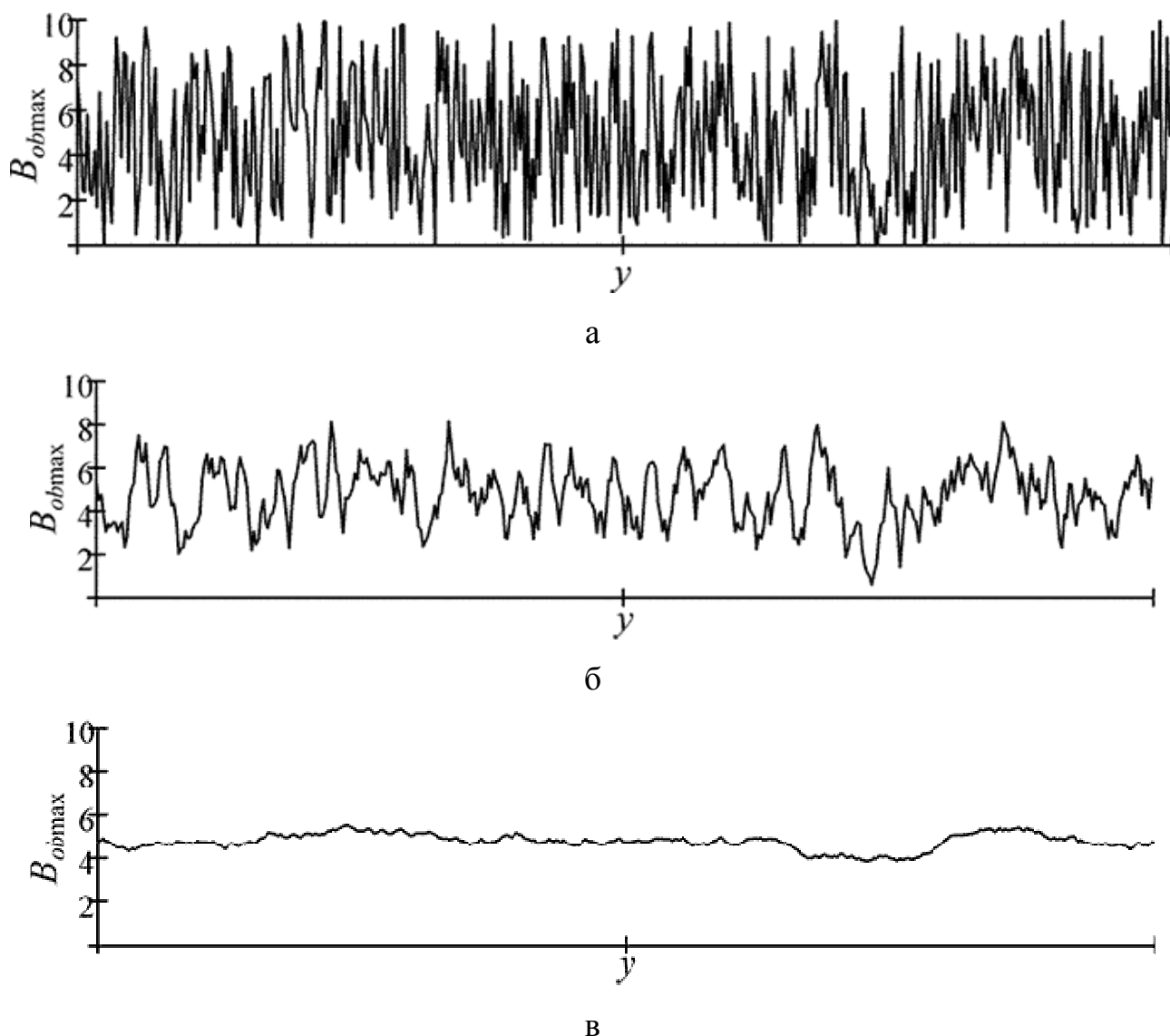
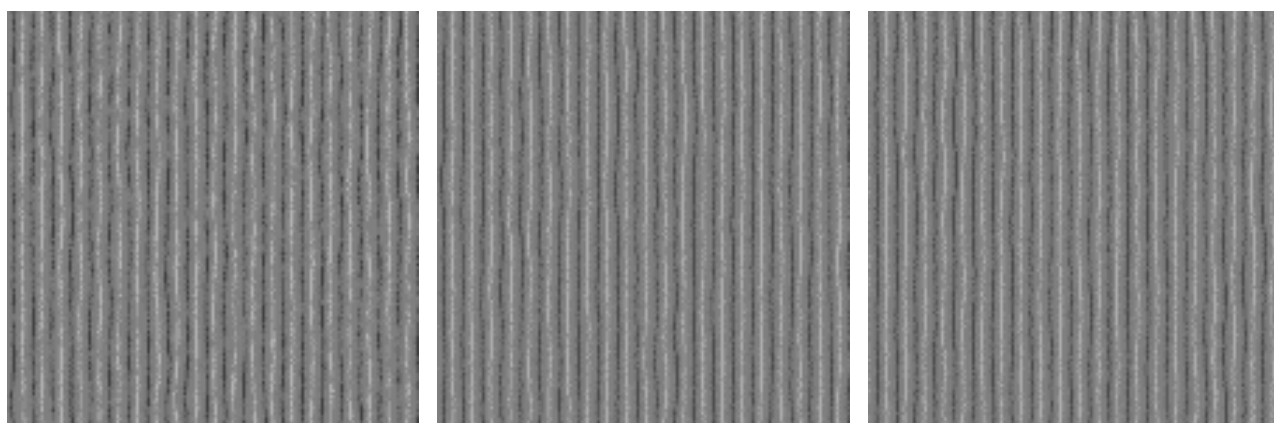


Рис. 3.3. Імітація дисперсії магнітних складових модельованих об'єктів вздовж лінії магнітної фарби: а — вихідна випадкова девіація $B_{обmax}^n$ з рівномірним розподілом, б — обчислена за (а) девіація $B_{обmax}^n$ об'єктів фальшивого класу, в — обчислена за (а) девіація $B_{обmax}^n$ об'єктів оригінального класу.

Отримані розподіли $B_{об}(x, y)$ об'єктів квантовані за 32 рівнями від -5 мТл до 5 мТл, які відповідають рівням $B_{комп}$ модельованого джерела компенсації (рис. 2.4). Фрагменти зображення розподілів $B_{об}(x, y)$ змодельованих об'єктів,

представлені на рис. 3.4.

При якісному контролі магнітних параметрів документів їх порівняння виконується за отриманими зображеннями, за якими в даному випадку можна оцінити характерну дисперсію магнітної індукції, закладену в моделі (рис. 3.4, б, в), тобто відмітити схожість об'єктів 2 і 3 та відмінність від них об'єкту 1, однак потрібен об'єктивний показник подібності об'єктів, що дозволить їх класифікувати.



а — об'єкт 1

б — об'єкт 2

в — об'єкт 3

Рис. 3.4. Фрагменти зображення розподілу $B_{об}(x, y)$ змодельованих об'єктів.

За даними $B_{об}(x, y)$ можна обчислити модуль магнітного потоку контрольованої площини $|\Phi^n|$, але він дає змогу проводити лише грубе порівняння документів, наприклад для виявлення фальсифікації з використанням магнітом'якої фарби замість магнітотвердої. Крім того, кількість магнітного матеріалу у порівнюваних за $|\Phi^n|$ областях має бути однаковою, що не завжди можна забезпечити, як, наприклад, при порівнянні областей з різним магнітним рисунком. У даному випадку обчислені значення модуля магнітного потоку відрізняються лише в третьому знаку (Таблиця 3.1). Тобто віднесення об'єкту 1 до класу фальшивих, а об'єктів 2 і 3 до класу оригінальних за цими даними вкрай утруднено.

Таблиця 3.1. Магнітний потік змодельованих об'єктів контролю

	Об'єкт 1	Об'єкт 2	Об'єкт 3
$ \Phi^n $, нВб	37,8	37,6	37,7

Пряме порівняння розподілів магнітної індукції, наприклад за значеннями

СКВ (3.1), ускладнено з декількох причин. По-перше, документи можуть не мати ідентичних областей для порівняння, що характерно для багатосторінкових договорів, заповітів та ін. В цьому випадку потрібно виявити передруковані сторінки з відмінними магнітними властивостями фарби (що свідчить про підробку) та різним магнітним рисунком (наприклад різним текстом документу в областях порівняння). По-друге, навіть при порівнянні умовно ідентичних областей документів, які, наприклад, зустрічаються в цінних паперах та грошових знаках (стандартизований на виробництві магнітний захист), виникає суттєва похибка взаємного позиціювання контрольованої області документу та чутливої області магнітооптичного перетворення. Ця похибка імітується в моделі тим, що об'єкти одного класу 2 і 3 зміщені у вікні МО зображення один відносно одного по горизонталі на половину ширини штриха (15 мкм).

$$\sigma_B = \frac{1}{x \cdot y} \sum_x \sum_y (B_{об1}(x, y) - B_{об2}(x, y))^2. \quad (3.1)$$

Результати обчислення показника неподібності σ_B (3.1), де значення $B_{об}$ виражені в мТл, для усіх можливих пар порівняння подано в таблиці 3.2. Як і очікувалось, показник σ_B не відражає реальну приналежність об'єктів своїм класам. Так, відповідно цього показника об'єкти одного класу (2 і 3) мають досить велике значення показника розбіжності σ_B , водночас мінімальну розбіжність мають об'єкти різних класів (1 і 2), при чому вона на порядок нижча.

Таблиця 3.2. Порівняння змодельованих об'єктів за СКВ $B_{об}(x, y)$

Змодельовані об'єкти	1 і 2	1 і 3	2 і 3
Похибка позиціювання	–	+	+
Різні магнітні фарби (класи об'єктів)	+	+	–
σ_B , мТл ²	0,07	1	0,94

Це пов'язано з тим, що імітована похибка позиціювання істотно впливає на σ_B , водночас відмінність дисперсії магнітних складових, що імітує різні типи магнітних фарб (за якими і класифікуються документи) практично не відражається показником σ_B . Отже існує необхідність в більш ефективному показнику подібності документів, з низькою чутливістю до геометричної конфігурації і позиціювання їх магнітних складових.

В пропонованому методі дані магнітної оцінки $B_{об}(x, y)$ представляються у вигляді гістограми кількості точок контрольованої площини з відповідним значенням магнітної індукції $n(B_{об})$. Такий підхід з одного боку дає можливість врахувати статистичні особливості розподілу, а з іншого — зменшити вплив похибки позиціювання та відмінностей магнітного рисунку контрольованих областей на результат порівняння документів. Оскільки переважна кількість точок зображення має низькі значення магнітної індукції, а важливими для порівняння документів є високі значення, гістограми представлені в логарифмічному масштабі — $\lg(n(B_{об}))$. Навіть суб'єктивний візуальний аналіз гістограм (рис. 3.5) дає можливість чітко визначити належність об'єктів 2 і 3 до одного класу, а об'єкту 1 — до іншого.

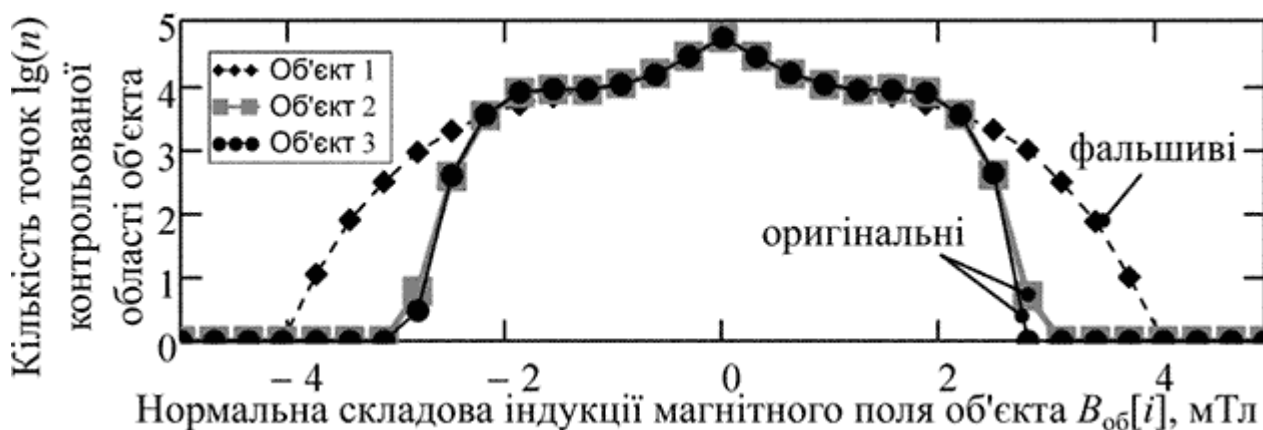


Рис. 3.5. Гістограми магнітної індукції змодельованих об'єктів

Для об'єктивного кількісного порівняння даних вимірювання магнітних параметрів документів за гістограмами слід застосувати коефіцієнт розбіжності d (3.2), що відражає дистанцію між гістограмами об'єктів "об1" та "об2" для усіх значень поля компенсації $B_{комп}(i)$, виражених в мТл. Результати кількісного

порівняння об'єктів за дистанціями гістограм (3.2) представлені в таблиці 3.3.

$$d = \sum_i |B_{\text{комп}}(i) \cdot (\lg[n_{\text{об1}}(i)] - \lg[n_{\text{об2}}(i)])|. \quad (3.2)$$

Кількісне порівняння гістограм розподілу магнітної індукції за значеннями дистанції (3.2) між ними підтверджує можливість класифікації документів. При чому похибка позиціювання впливає на результат порівняння набагато менше ніж при порівнянні за СКВ розподілів (3.1). Так, якщо прийняти об'єкти 2 і 3 за еталонні документи (рис. 3.1), максимальна дистанція гістограм автентичних документів становитиме 3 мТл, а дистанції між еталонними і контрольованим документом (об'єкт 1) на порядок більше — 53 мТл. Тобто контрольований документ не можна віднести до класу еталонних. Отже за результатами цього теоретичного дослідження (таблиця 3.3) об'єкт 1 можна класифікувати як фальшивий, що і було покладено в основу вихідних теоретичних характеристик об'єктів, як девіація концентрації магнітних компонент вздовж штрихів магнітної фарби.

Таблиця 3.3. Порівняння змодельованих об'єктів за дистанціями гістограм

Змодельовані об'єкти	1 і 2	1 і 3	2 і 3
Похибка позиціювання	–	+	+
Різні магнітні фарби (класи об'єктів)	+	+	–
d , мТл	53	56	3

Результати кількісної оцінки на практиці міститимуть спотворення і шуми. Тому значення дистанцій між гістограмами автентичних документів можуть приймати ненульові, або навіть високі значення, спричиняючи тим самим збільшення імовірності похибки першого роду, коли автентичний об'єкт контролю класифікується як фальшивий. Отже слід проаналізувати джерела спотворень і шумів з метою їх часткової компенсації, для підвищення вірогідності запропонованого методу кількісного контролю документів.

3.2 Узагальнений метод кількісного контролю магнітних параметрів документів, оснований на побудові і порівнянні гістограм розподілу магнітної індукції.

З метою удосконалення кількісного магнітооптичного контролю документів при їх класифікації 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 наступні:

1. Шуми магнітооптичного перетворення. Вони виникають за рахунок неповної перебудови доменної структури магнітооптичної плівки через ненульову коерцитивну силу, що спричиняє магнітний гістерезис. Операція логарифмування, що застосовується в методі збільшує вклад в магнітну оцінку $n(B)$ невеликих значень кількості точок n_i , яким відповідають високі значення індукції магнітного поля B_i . Ці значення відповідають старшим квантилям розподілу, які мають більшу дисперсію оцінки [5] відносно дисперсії оцінок молодших квантилів. Тому результати магнітної оцінки навіть одного зразка документу матимуть ненульові значення дистанції гістограм d .

2. Зміна параметрів намагнічування документів. Вона виникає при дослідженні документів із власним магнітним полем, попередня намагніченість яких впливає на просторовий розподіл магнітної індукції в області контролю. Тому при дослідженні навіть одного і того самого об'єкта гістограми розподілу магнітної індукції змінюються відповідно до його попередньої намагніченості.

3. Неоднорідність щільності друку документів. Вона впливає на результат порівняння областей документу, оскільки отримувані запропонованим методом гістограми кількості точок контрольованої площини $n(B)$, перемагнічених відповідним полем компенсації безпосередньо залежать від співвідношення площ магнітних і немагнітних компонент в області контролю.

Для удосконалення запропонованого методу порівняння документів (3.2)

пропонується перейти від безпосереднього порівняння розподілів $d(B_{061}, B_{062})$ до побудови моделі $n(B)$ і аналізу її параметрів. В пропонованій моделі (3.3) 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: $\sigma_{\vartheta}^2 \gg \sigma_{\varepsilon}^2$.

$$n(B) \approx f(\gamma), \quad \gamma = \varepsilon + \vartheta, \quad \varepsilon \in N(M_{\varepsilon}, \sigma_{\varepsilon}^2), \quad \vartheta \in N(M_{\vartheta}, \sigma_{\vartheta}^2). \quad (3.3)$$

Також слід зазначити, що для значної кількості точок 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} . В загальному випадку дані вимірювань моделюються функцією (3.4) (рис. 3.6), але, враховуючи $\sigma_{\vartheta}^2 \gg \sigma_{\varepsilon}^2$ та $O_{\varepsilon} \gg O_{\vartheta}$, функцію можна спростити до значень (3.5).

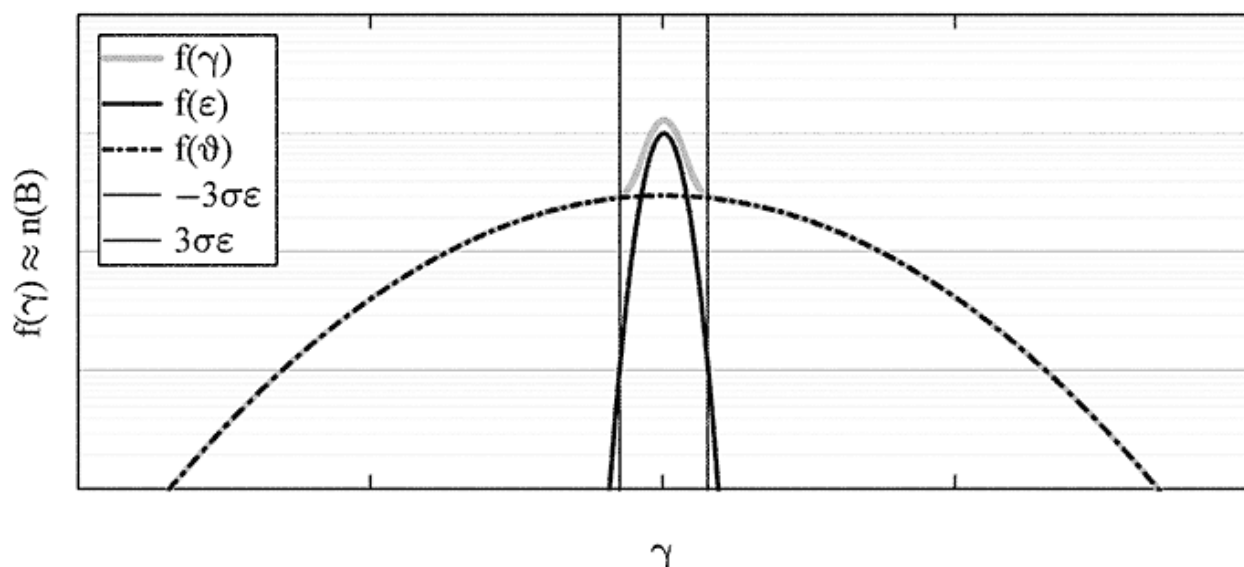


Рис. 3.6. Складові частини моделі.

$$f(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{O_{\varepsilon}}{(O_{\varepsilon} + O_{\vartheta})\sigma_{\varepsilon}} \cdot e^{-\frac{(\gamma - M_{\varepsilon})^2}{2\sigma_{\varepsilon}^2}} + \frac{O_{\vartheta}}{(O_{\varepsilon} + O_{\vartheta})\sigma_{\vartheta}} \cdot e^{-\frac{(\gamma - M_{\vartheta})^2}{2\sigma_{\vartheta}^2}} \right]. \quad (3.4)$$

$$f(\gamma) \approx \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{O_\varepsilon}{(O_\varepsilon + O_\theta)\sigma_\varepsilon} \cdot e^{-\frac{(\gamma - M_\varepsilon)^2}{2\sigma_\varepsilon^2}}, & |\gamma| < 3\sigma_\varepsilon \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{O_\theta}{(O_\varepsilon + O_\theta)\sigma_\theta} \cdot e^{-\frac{(\gamma - M_\theta)^2}{2\sigma_\theta^2}}, & |\gamma| \geq 3\sigma_\varepsilon \end{cases}. \quad (3.5)$$

Для аналізу магнітних матеріалів складають інтерес точки $|\gamma| \geq 3\sigma_\varepsilon$ з малими значеннями густини імовірності, тому для наочності слід використовувати логарифмічне представлення функції (3.6).

$$\lg[f(\gamma_i)] = \lg\left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{O_\vartheta}{(O_\varepsilon + O_\vartheta)\sigma_\vartheta}\right] - \lg(e) \cdot \frac{(\gamma_i - M_\vartheta)^2}{2\sigma_\vartheta^2} = a\gamma_i^2 + b\gamma_i + c. \quad (3.6)$$

Гістограми розподілу магнітної індукції в логарифмічному масштабі можуть бути апроксимовані звичайним квадратним рівнянням, яке визначатиме властивості документу зі зменшенням шумів магнітооптичного перетворення.

Обробка гістограм магнітної індукції документів полягає в їх апроксимації з подальшою нормалізацією з метою підвищення вірогідності контролю документів за рахунок зниження впливу шумів МОТС, параметрів попереднього намагнічування, а також нерівномірності щільності друку. Отже слід знайти коефіцієнти апроксимації та нормалізації рівняння (3.6) за відомим вихідними гістограмами магнітної оцінки документу.

Для знаходження оптимальних параметрів функції апроксимації слід мінімізувати СКВ F між значеннями змодельованої функції $a\gamma_i^2 + b\gamma_i + c$ та експериментально отриманими значеннями $\lg[n_i(B_i^n)]$, для тих точок i , які задовольняють експериментально визначені умови $|\gamma| \geq 3\sigma_\varepsilon$ (3.7).

$$F = \sum_i^{|\gamma| \geq 3\sigma_\varepsilon} (\lg(n_i) - a\gamma_i^2 - b\gamma_i - c)^2. \quad (3.7)$$

Обчислимо значення часткових похідних $\frac{\partial F}{\partial a}$, $\frac{\partial F}{\partial b}$, $\frac{\partial F}{\partial c}$ та враховуючи, що через симетричність інтервалу аналізу $\sum \gamma_i = 0$, $\sum \gamma_i^3 = 0$ прирівняємо отримані

вирази до нуля, отримавши наступну систему рівнянь (3.8), де $N = \sum 1$ — кількість точок гістограми.

$$\begin{bmatrix} \sum \gamma_i^4 & 0 & \sum \gamma_i^2 \\ 0 & \sum \gamma_i^2 & 0 \\ \sum \gamma_i^2 & 0 & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum \lg(n_i) \gamma_i^2 \\ \sum \lg(n_i) \gamma_i \\ \sum \lg(n_i) \end{bmatrix}. \quad (3.8)$$

Рішенням цієї системи є шукана сукупність параметрів рівняння апроксимації (3.9) експериментально отримуваних гістограм магнітної індукції.

$$\begin{aligned} a &= \frac{N \sum \lg(n_i) \gamma_i^2 \sum \gamma_i^2 - \sum \lg(n_i) (\sum \gamma_i^2)^2}{N \sum \gamma_i^2 \sum \gamma_i^4 - (\sum \gamma_i^2)^3}, \\ b &= \frac{N \sum \lg(n_i) \gamma_i \sum \gamma_i^4 - \sum \lg(n_i) \gamma_i (\sum \gamma_i^2)^2}{N \sum \gamma_i^2 \sum \gamma_i^4 - (\sum \gamma_i^2)^3}, \\ c &= \frac{\sum \lg(n_i) \sum \gamma_i^2 \sum \gamma_i^4 - \sum \lg(n_i) \gamma_i^2 (\sum \gamma_i^2)^2}{N \sum \gamma_i^2 \sum \gamma_i^4 - (\sum \gamma_i^2)^3}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Для зменшення впливу зміни параметрів намагнічування та неоднорідності щільності друку на результат порівняння J документів між собою, кожен j -й апроксимований результат магнітної оцінки (3.10) проходить нормалізацію (3.11). Таким чином зменшується відхилення параметрів магнітної оцінки документу при зміні параметрів попереднього намагнічування.

$$f_{\text{апр}}(\gamma_i, j) = a_j \gamma_i^2 + b_j \gamma_i + c_j. \quad (3.10)$$

$$f_{\text{норм}}(\gamma_i, j) = a_j \left(\gamma_i - \frac{b_j}{2a_j} \right)^2 + b_j \left(\gamma_i - \frac{b_j}{2a_j} \right) + \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J c_j. \quad (3.11)$$

$$d_{\text{норм}} = \sum_{i=1}^I \left| \gamma_i \cdot (f_{\text{норм}}(\gamma_i, j) - f_{\text{норм}}(\gamma_i, j+1)) \right| \quad (3.12)$$

Промодельюємо застосування запропонованого способу обробки гістограм. Для цього виконано розрахунок чотирьох теоретичних тестових об'єктів, перші два (об'єкт 1, об'єкт 2) з яких належать до одного класу і відрізняються щільністю друку, а два останні (об'єкт 3, об'єкт 4) — до іншого, та відрізняються різними параметрами попереднього намагнічування.

Завданням моделювання є перевірка твердження про підвищення вірогідності контролю із застосуванням класифікації за апроксимованими та нормованими гістограмами (3.12) замість вихідних (3.2).

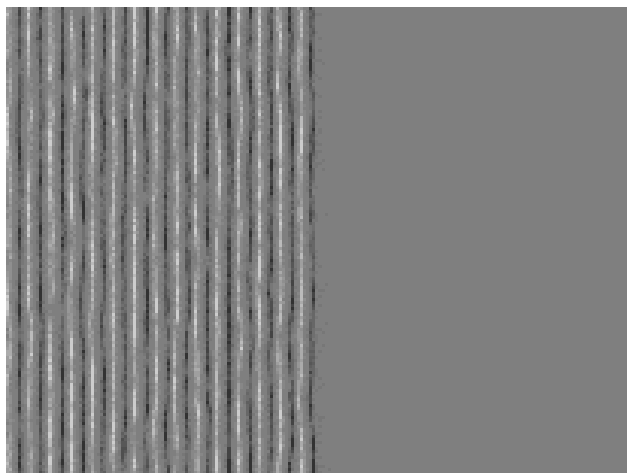
Тест-об'єкти моделюються подібно попереднім (рис. 3.3) і представляють собою набір ліній магнітної фарби товщиною 30 мкм, розміщених на відстані 80 мкм. Всього змодельовано 4 об'єкти з двома типами фарб, що визначають їх клас (таблиця 3.4). Об'єкти 1 і 2 (клас 1) відрізняються від об'єктів 3 і 4 (клас 2) різними значеннями нерівномірності концентрації магнітних компонент (значення дисперсія $B_{об\ max}$ класу 1 на порядок нижче ніж класу 2), таким чином імітується застосування різних фарб, що має визначатися в ході дослідження запропонованим методом.

Таблиця 3.4. Характеристики модельованих об'єктів

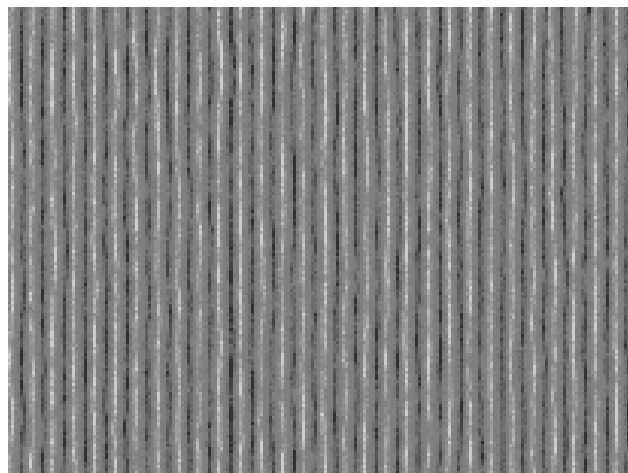
Об'єкт	1	2	3	4
Клас (тип фарбника)	1		2	
Різниця між об'єктами одного класу	різне заповнення контрольованої площини		різне попереднє намагнічування	

Об'єкти 1 і 2 відрізняються між собою різною кількістю ліній у вікні дослідження: якщо в об'єкті 2 вони заповнюють весь простір дослідження, то в об'єкті 1 ними заповнена лише половина (рис. 3.7). Об'єкти 3 і 4 відрізняються позитивним, або негативним зміщенням значень $B_{об}$, яке досягається лінійною модуляцією моделювальної функції (2.4) функцією виду $\pm x/a + 1$. Таким чином імітується присутність попереднього нормального намагнічування в протилежних напрямках. Побудовані гістограми розподілу магнітної індукції представлені на рис. 3.8. В даному випадку об'єкти можна класифікувати навіть візуально, оскільки вони досить чітко відрізняються формою і розмірами, однак видно, що об'єкти одного класу мають великі розбіжності в даних гістограм, тому на практиці можливо помилкове віднесення кожного зі змодельованих об'єктів до самостійного класу, особливо при порівнянні за критерієм дистанції. Після виконання процедур апроксимації та нормалізації (3.11) гістограми

набувають вигляду рис. 3.9. Спробуємо оцінити ступінь покращення вірогідності класифікації об'єктів.



а — об'єкт 1



б — об'єкт 2

Рис. 3.7. Фрагменти зображення розподілу $B_{об}(x, y)$

змодельованих об'єктів класу 1.

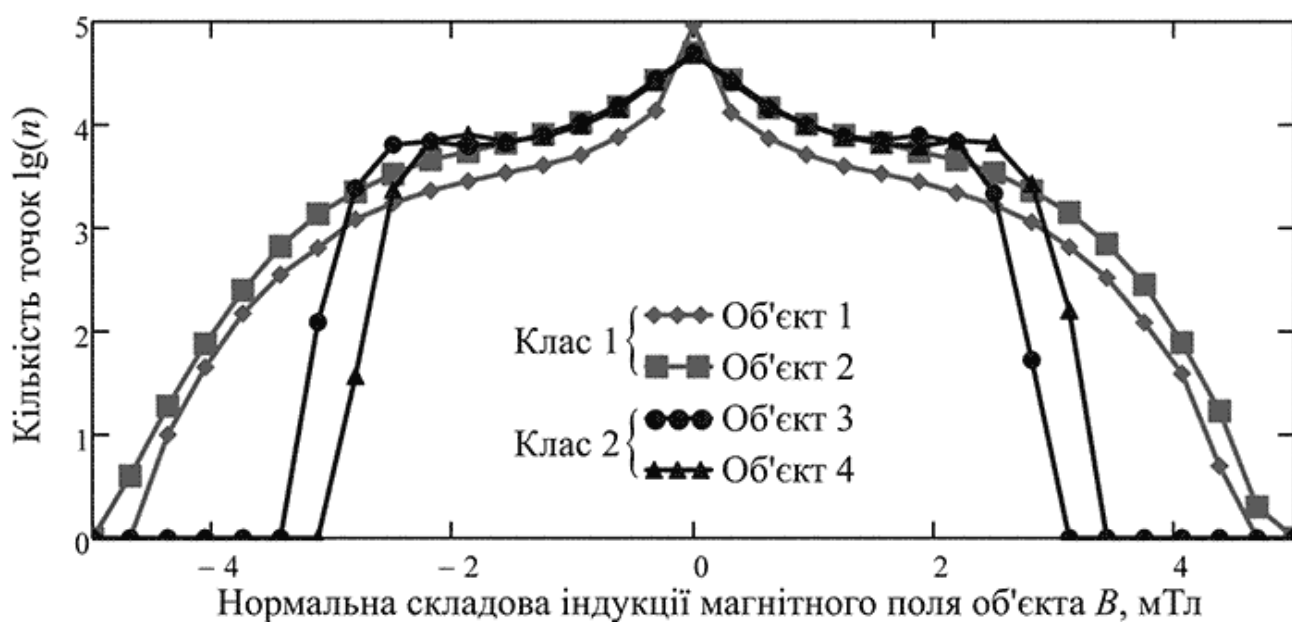


Рис. 3.8. Гістограми магнітної індукції змодельованих об'єктів.

Порівняємо дистанції гістограм об'єктів, за якими порівнюватимуться об'єкти на практиці. З таблиці 3.5 видно суттєве зменшення дистанцій гістограм для об'єктів одного класу, при застосуванні нормалізації, що позитивно впливає на вірогідність похибки першого роду при класифікації документів. Однак дистанції гістограм об'єктів різних класів також зменшились.

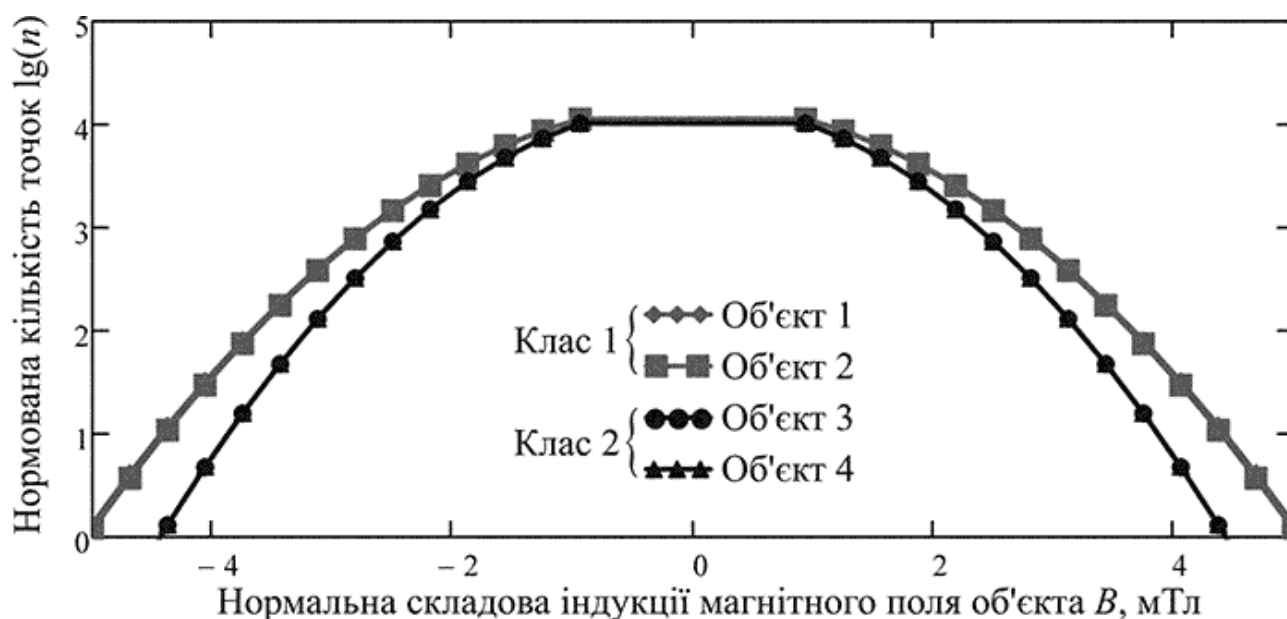


Рис. 3.9. Апроксимовані і нормалізовані гістограми магнітної індукції змодельованих об'єктів

Таблиця 3.5. 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	25	26	78	78	89	89
$d_{\text{норм}}$	2	0,3	46	45	44	43

Вірогідність класифікації на практиці визначається прийнятим пороговим значенням дистанції для об'єктів одного класу. Тому чим менша дистанція між гістограмами об'єктів одного класу і чим більша дистанція між гістограмами об'єктів різних класів тим більша вірогідність класифікації. В ідеальному випадку справедливо відношення (3.13), в якому δ_d — показник ефективності класифікації, що визначається як відношення максимальної дистанції об'єктів одного класу до мінімальної дистанції об'єктів різних класів.

$$\delta_d = \frac{\max[d(B_{o61}, B_{o62}), d(B_{o63}, B_{o64})]}{\min[d(B_{o61}, B_{o63}), d(B_{o61}, B_{o64}), d(B_{o62}, B_{o63}), d(B_{o62}, B_{o64})]} \rightarrow 0. \quad (3.13)$$

Значення δ_d для вихідних гістограм становить 0,33, а для апроксимованих та нормалізованих — 0,05. Отже можливість підвищення вірогідності класифікації документів, за рахунок зменшення впливу шумів магнітооптичного перетворення, зміни параметрів намагнічування та неоднорідності щільності друку документів застосуванням апроксимації та нормалізації теоретично

підтверджена.

3.3 Методика оцінки чутливості і роздільної здатності магніто-оптичної телевізійної системи

Одним із вказаних в першому розділі недоліків сучасних методів контролю документів є неможливість виконання комплексного контролю, який давав би можливість виконувати топологічний, топографічний та трасологічний аналіз документів одним і тим же засобом. Із застосуванням запропонованого методу кількісного магнітооптичного контролю з'являється можливість проводити комплексний магнітний контроль документів за рахунок кількісного дослідження магнітних характеристик документів. Однак залишається актуальним і якісний експертний трасологічний контроль, якість якого в тому числі визначається чутливістю та роздільною здатністю магнітооптичної телевізійної системи. Враховуючи складність телевізійної системи контролю, необхідно створити особливу методику оцінки чутливості і роздільної здатності, за якими можна оцінити придатність системи для трасологічного дослідження.

Дослідження параметрів магнітного захисту виконується неруйнівним методом контролю. Відповідно до державного стандарту [73], що визначає терміни неруйнівного контролю, реальна чутливість неруйнівного контролю визначається найменшим розміром реального дефекту конкретного типу, що виявляється у конкретному об'єкті на заданій глибині, а гранична чутливість неруйнівного контролю — це найменший розмір штучного відбивача, що виявляється на заданій глибині у конкретному об'єкті. Дефектом або відбивачем в даному випадку вважається штрих з конгломерату фарби або інший елемент захисту з магнітними властивостями. З метою забезпечення об'єктивності експериментальної оцінки чутливості, пропонується застосування у якості об'єктів контролю тест-об'єктів із заданими характеристиками. Такий підхід є апробованим і традиційним для оцінки чутливості методів і засобів неруйнівного контролю, що підтверджується стандартом [74]. Тому далі під

поняттям чутливість матиметься на увазі гранична чутливість, як найменший розмір штучного відбивача, що виявляється системою. Стандартом [73] у явному вигляді не формалізовано ознаки виявлення системою дефекту, вони визначаються опосередковано через вірогідність неруйнівного контролю. Тому їх вибір виконується експериментатором, виходячи з конкретних особливостей методів і засобів неруйнівного контролю. Далі буде визначено, що вірогідність контролю залежить від амплітуд сигналів і шумів системи візуалізації.

Вхідний сигнал ТС у вигляді просторового розподілу нормальної складової напруженості магнітного поля в площині контролю проходить низку магнітних, оптичних, електричних і цифрових перетворень, в результаті чого сигнал на виході ТС у вигляді дискретних значень інтенсивності світла, модульованого поляризаційною схемою МО перетворення, зазнає спотворень і шумів. Ця ситуація характерна для засобів радіозв'язку, де чутливість приймача обмежується власними і зовнішніми шумами і спотвореннями системи приймання, детектування і підсилення сигналу. Тому, за аналогією, ознакою виявлення системою дефекту може бути достатній рівень відношення сигнал/шум зображення візуалізації конкретного дефекту.

Взятий за основу і доопрацьований спосіб кількісної оцінки сигналів і шумів зображень візуалізації при магнітооптичній дефектоскопії викладено у [75] та [59]. У статті [75] показано, що потужність сигналів і шумів зображення МОВ деякого ОК цілком визначається значенням середньоквадратичного відхилення яскравості точок зображень за відсутності цього ОК від значень яскравості точок в його присутності.

Пропонована [59] методика дослідження сигналів і шумів ґрунтується на сегментації зображень, отриманих у результаті магнітооптичної візуалізації тестового об'єкта контролю. Так область зображення ТС зі штучним дефектом використовується для оцінки статистичних характеристик розподілу сигналу системи, а бездефектна область характеризує шум системи. Застосування тест-об'єктів дозволяє коректно вирішити завдання сегментування зображення МОВ на підставі апіорних знань про властивості (наявності/відсутності сигналу) у

різних областях тест-об'єкта. Для оцінки чутливості виявлення системою штриха фарби деякої товщини, можна використати тест-об'єкт, зображений на рис. 3.10. Він представляє собою лист паперу з надрукованим магнітною фарбою штрихом відомої товщини. При цьому область зі штрихом при магнітооптичній візуалізації вважається сигнальним сегментом, а решта — шумовим.

Вихідними даними для кількісної оцінки амплітуд сигналів і шумів виступають двомірні матриці яскравості $A(i, j)$ точок зображень МОВ, дискретизованих датчиком телевізійного сигналу. У зображенні візуалізації присутні шуми, які можна умовно розділити на дві категорії: динамічні завади і статичні спотворення. До динамічних відносяться шуми, амплітуда яких змінюється в часі: шуми ДТС та джерела світла, шуми перебудови смужкової доменної структури (“лабіринту”) МО перетворювача, дифракція світла на “лабіринті” перетворювача і власне сам “лабіринт”, як результат дискретного бінарного перетворення просторового розподілу амплітуди магнітного поля.

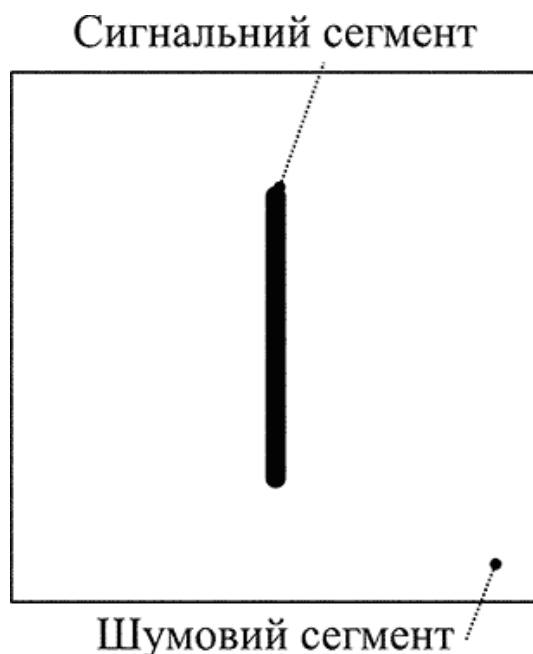


Рис. 3.10. Тест-об'єкт для визначення чутливості.

Введення матриці яскравості точок зображення виконується МОТС декілька разів з подальшим усередненням (3.14) для того, щоб зменшити вплив шумів МО перетворювача і датчика телевізійного сигналу на результати

візуалізації. Цей метод накопичення [76] дозволяє підвищити відношення сигнал/шум у n разів, де n — кількість накопичень, якщо кожен при кожному відліку $A_k(i, j)$ сигнал залишається постійними, а амплітуда завади хаотично змінюється.

$$\bar{A}(i, j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n A_k(i, j). \quad (3.14)$$

Навіть за відсутності об'єкта контролю (сигналів) у фоновому зображенні МОВ, окрім динамічних завад, присутні також відносно сталі спотворення системи візуалізації. Серед них можна виділити:

1. Паразитна модуляція інтенсивності освітлення (бліки, непрозорі дефекти оптичної системи);
2. Дефекти поляризації;
3. Геометричні аберації;
4. Нелінійність чутливості фотоприймача;
5. Нелінійність МО перетворення;
6. Контактні спотворення;
7. Суперпозиція магнітного поля сигналу з паразитним полем в площині МО перетворювача.

Враховуючи відносну постійність цих спотворень, їх можна зменшити за допомогою адаптивної фільтрації [77]. Так зображення візуалізації проходить програмну корекцію дисторсії. Знизити вплив адитивних спотворень допомагає операція видалення фону, що полягає в оцінці відхилення яскравості точок зображення МОВ в присутності об'єкта контролю $\bar{A}(i, j)$ від яскравості точок зображення МОВ за його відсутності $\bar{A}_\phi(i, j)$. Щоб зберегти динамічний діапазон яскравостей оцифрованого зображення, який вимірюється у відносних величинах від 0 у. о. для чорного кольору до 255 у. о. для білого, різницю яскравостей зображення візуально оцінюють відносно середини діапазону (3.15).

$$\Delta \bar{A}(i, j) = \bar{A}(i, j) - \bar{A}_\phi(i, j) + 128. \quad (3.15)$$

Оцінку потужності сигналу P_c і шуму $P_{ш}$ МОВ пропонується виконувати шляхом обчислення середнього значення квадрату відхилення яскравості точок МО зображення в присутності об'єкта контролю $\bar{A}(i, j)$ від яскравості точок МО зображення за його відсутності $\bar{A}_\phi(i, j)$. При цьому матриця сегментується на області “С” де апіорі існує сигнал, і області шуму “Ш”, де він апіорі відсутній.

На відміну від [59], де потужність сегменту сигналу тест-об'єкту значно вище потужності шуму, при обчисленні потужності сигналу в даному випадку слід врахувати внесені шуми в сегменті сигналу зменшенням обчисленого середньоквадратичного відхилення яскравості на потужність шумів $P_{ш}$, оскільки потужність шумів сталою величиною, адитивною сигнальної компоненти. Таким чином, для оцінки потужності сигналу і шуму МОВ маємо співвідношення (3.16) та (3.17).

$$P_{ш} = \frac{1}{I_{ш} J_{ш}} \sum_{i \in Ш} \sum_{j \in Ш} [\bar{A}(i, j) - \bar{A}_\phi(i, j)]^2. \quad (3.16)$$

Де $P_{ш}$ — потужність шуму МОВ; i, j — порядковий номер точки матриці яскравості зображення МОВ по горизонталі і вертикалі відповідно, $I_{ш}, J_{ш}$ — кількість точок сегментів зображення по горизонталі і вертикалі відповідно, в яких відсутній сигнал; Ш — множина сегментів області МОВ, де апіорі відсутній сигнал (рис. 3.10); $\bar{A}(i, j)$ — матриця яскравості точок зображення МОВ в присутності тест-об'єкта; $\bar{A}_\phi(i, j)$ — матриця яскравості точок фонового зображення МОВ.

$$P_c = \frac{1}{I_C J_C} \sum_{i \in C} \sum_{j \in C} [\bar{A}(i, j) - \bar{A}_\phi(i, j)]^2 - P_{ш}. \quad (3.17)$$

Де P_c — потужність сигналу МОВ; I_C, J_C — кількість точок сегментів зображення по горизонталі і вертикалі відповідно, в яких присутній сигнал, С — множина сегментів області МОВ, де апіорі присутній сигнал (рис. 3.10).

Оцінивши співвідношення (3.18) для штрихів певної ширини, можна визначити чутливість телевізійної системи до такого роду об'єктів.

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \lg(P_c / P_{\text{ш}}). \quad (3.18)$$

Згідно ДСТУ [73], роздільна здатність неруйнівного контролю — це здатність засобів неруйнівного контролю зафіксувати два сусідні дефекти. Через велике різноманіття способів і об'єктів неруйнівного контролю, стандартом не формалізовано ознаки фіксації сусідніх дефектів, їх розміри, форму, взаємне положення.

Досліджувана телевізійна система неруйнівного контролю за своєю структурою подібна мікроскопу — когерентне світло модульоване поляризаційною схемою МО перетворення реєструється у площині датчика телевізійного сигналу. Щоб визначити роздільну здатність даної системи скористаємось принципами вимірювання роздільної здатності мікроскопів [78], яка визначається мінімальною відстанню між двома точками предметної площини, що розрізняються. Для визначення роздільної здатності слід виготовити тест-об'єкт зі штрихами магнітної фарби, що представляють собою правильну решітку, тобто віддалені один від одного на ширину штриха (рис. 3.11).

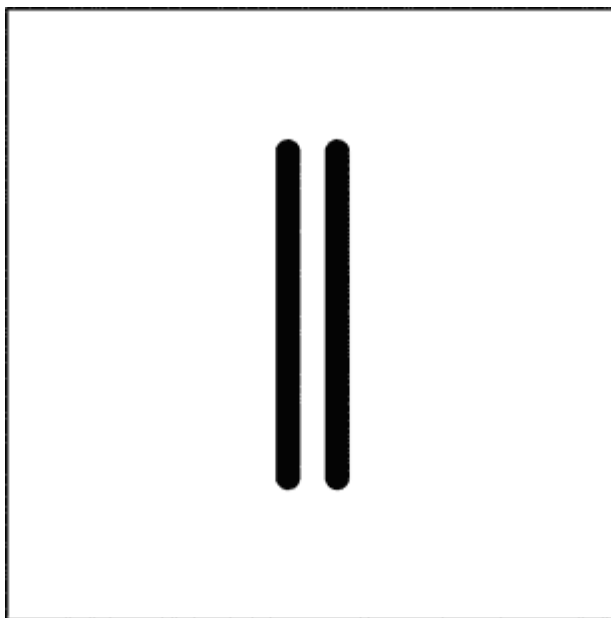


Рис. 3.11. Тест-об'єкт для визначення роздільної здатності.

Визначення границь сегментів сигналу чутливості за МО зображенням проводиться відносно просто, оскільки сегмент сигналу геометрично співпадає з відомою областю штриха, якщо його ширина сумірна з просторовим періодом

доменної структури МОП). При визначенні роздільної здатності слід врахувати взаємодію магнітних полів двох близько розташованих штрихів.

Розглянемо теоретичний просторовий розподіл нормальної складової напруженості магнітного поля вздовж прямої, перпендикулярної штрихам, в площині МО перетворювача для двох близько розташованих штрихів фарби, побудований за (2.4). Розподіл амплітуд $H^n(x)$ оцінюється МОТС опосередковано через середні значення яскравості точок зображення МО візуалізації $A_{\text{розп}}(i) = \frac{1}{J} \sum_j [\bar{A}(i, j) - \bar{A}_\phi(i, j)] \sim H^n(x)$.

На рис 3.12 показані складові $A_{\text{розп}}(i)$. Кожному штриху відповідають два екстремуми різної полярності, при чому максимум розподілу $A_1(i)$ одного штриха компенсується мінімумом розподілу $A_2(i)$ іншого, що ускладнює розрізнення окремих штрихів у сумарному розподілі на фоні шумів $A_{\text{ш}}(i)$, які додаються на етапах магнітооптичного, електронного і інших перетворень сигналу (3.18).

$$A_{\text{розп}}(i) = A_1(i) + A_2(i) + A_{\text{ш}}(i). \quad (3.18)$$

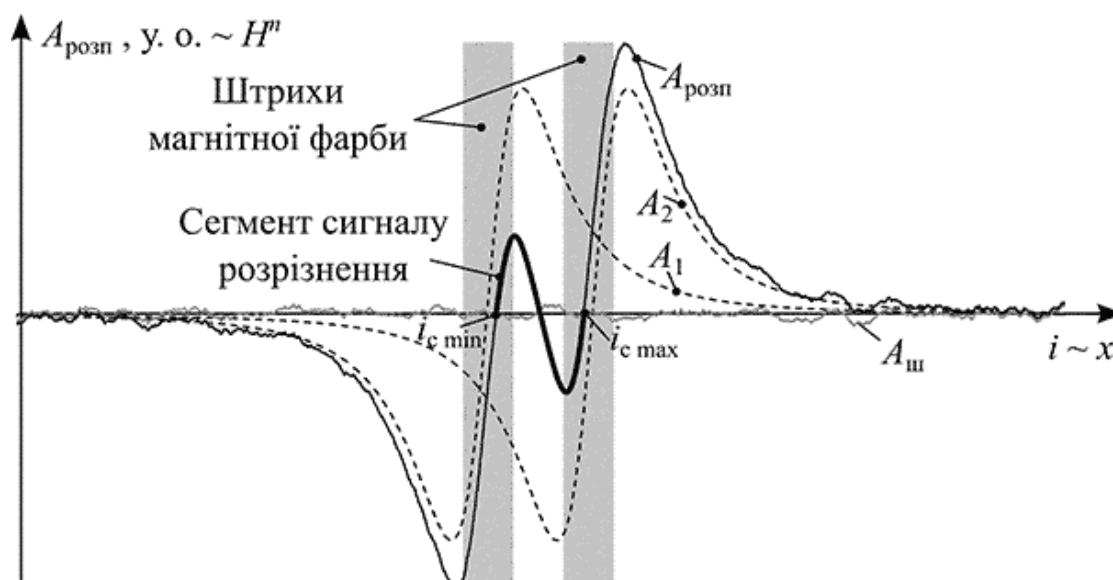


Рис. 3.12. Теоретичний просторовий розподіл яскравості МО зображення двох штрихів магнітної фарби та визначення границь сегменту сигналу їх розрізнення.

З рис. 3.12 видно, що зовнішні екстремуми функції $\Delta \bar{A}(i)$ не дають

інформацію про розрізнення окремих штрихів фарби, а лише визначають зовнішні границі послідовності штрихів. Натомість внутрішні екстремуми, якщо вони мають достатню амплітуду (більше амплітуди $A_{ш}$), цілком визначають кількість штрихів в послідовності. Тому при визначенні потужності сигналу роздільної здатності сегментація МО зображення по координаті перпендикулярній штрихам має виконуватись за областю внутрішніх екстремумів $A_{розп}(i)$ — $i \in [i_{с\ min}; i_{с\ max}]$, як зображено на рис. 3.12.

Таким чином, для визначення чутливості магнітооптичної телевізійної системи слід виготовити тест-об'єкти (рис. 3.10 рис. 3.11), з граничними розмірами, які підлягатимуть перевірці, провести магнітооптичне дослідження і розрахувати значення $SNR_{дв}$ (3.18). Приймавши допустиме значення $SNR_{дв}$, наприклад 3дБ, визначити мінімальні розміри елементів документу, які здатна відтворити та розрізнити система.

Висновки до третього розділу

1. В основі виявлення ознак фальсифікації документів лежить порівняння даних вимірювання магнітних параметрів областей документів, а саме: модулів магнітного потоку та різниці гістограм магнітної індукції. Перший параметр служить для виявлення грубих фальсифікацій, як, наприклад використання магнітом'якої фарби замість магнітотвердої, а другий дає змогу виявляти більш якісні підробки. Порівняння документів за гістограмами $B_{об}(x, y)$ дає можливість врахувати статистичні особливості розподілу, при цьому зменшивши вплив похибки позиціювання та відмінностей магнітного рисунку на результат контролю документів.

2. Гістограми магнітної індукції спотворюються шумами магнітооптичного перетворення, зміною параметрів намагнічування документів, неоднорідностями щільності друку, що знижує вірогідність контролю документів. Її підвищення можливо за рахунок апроксимації та нормалізації гістограм.

3. Гістограми магнітної індукції можна змоделювати сумою двох компонент з нормальним розподілом: шумів магнітооптичної системи та

властивостей документу. Характерні співвідношення СКВ цих компонентів дозволяють виконувати апроксимацію за даними магнітної оцінки документу, не враховуючи деякі магнітооптичні шуми. Апроксимація виконується квадратичним рівнянням, параметри якого обчислюються за критерієм мінімуму СКВ вихідної та апроксимованої функції.

4. У проведеному теоретичному дослідженні ефективності апроксимації та нормалізації розглянуто типові випадки порівняння магнітних оцінок одного і того самого документу: оцінка зміною напрямку поля збудження та зі зміною щільності друку. При застосуванні апроксимації та нормалізації неподібність кількох оцінок одного документу знижується, таким чином підвищується вірогідність контролю документів.

5. Вхідний сигнал телевізійної системи проходить низку магнітних, оптичних, електричних і цифрових перетворень, в результаті чого сигнал на виході телевізійної системи у вигляді дискретних значень інтенсивності світла містить спотворення і шуми. При оцінці чутливості та роздільної здатності у якості критерію розрізнення системою магнітних компонентів документу запропоновано використовувати достатній рівень відношення сигнал/шум зображення візуалізації конкретного дефекту.

6. В розробленій методиці визначення чутливості та роздільної здатності магнітооптичної телевізійної системи контролю документів потужність сигналів і шумів документа визначається середньоквадратичним відхиленням яскравості точок відповідних сегментів зображення системи за відсутності цього документа від значень яскравості точок в його присутності. При оцінці роздільної здатності границі сегменту сигналу розрізнення визначається внутрішніми екстремумами функції розподілу яскравості зображення документа вздовж прямої, що перетинає два близько розташовані елементи документу.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТООПТИЧНОЇ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ МАГНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ ДОКУМЕНТІВ

4.1 Магнітооптична телевізійна система контролю магнітних параметрів документів

На основі запропонованих методів вимірювання і обробки магнітних параметрів документів розроблено засіб кількісного магнітного контролю, структурна схема якого подана на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Структурна схема магнітооптичної телевізійної системи
контролю магнітних параметрів документів.

Розроблений засіб включає: 1) об'єкт контролю — документ з просторовим розподілом магнітних компонентів; 2) джерело збудження, що індукує магнітне поле розсіяння об'єкта контролю; 3) джерело компенсації, що компенсує нормальну складову магнітного поля розсіяння об'єкта контролю в площині магнітооптичного перетворювача; 4) магнітооптичний перетворювач, що перетворює просторовий розподіл магнітного поля в своїй площині на просторовий розподіл світла в площині датчика телевізійного сигналу (ДТС); 5) ДТС у складі телевізійної відеокамери, що перетворює просторовий розподіл світла в цифрову електронну форму; 6) контролер, який задає амплітуду магнітного поля компенсації та інші параметри системи, а також забезпечує зв'язок ДТС з електронно-обчислювальною машиною; 7) ЕОМ у вигляді персонального комп'ютера, за допомогою якого виконується керування контролером системи для виконання запропонованих методів вимірювання і контролю, обробка і порівняння даних контролю документів та виведення результатів магнітної оцінки; 8) програмне забезпечення ЕОМ, що реалізує алгоритми її роботи; 9) пристрій виве-

дення (дисплей ЕОМ) даних вимірювання і обробки магнітних параметрів.

На основі даної структурної схеми спроектовано експериментальну установку з урахуванням основних теоретичних співвідношень моделі (рис. 4.2). При створенні засобу пріоритетними задачами були мінімізація габаритів та енергоспоживання.

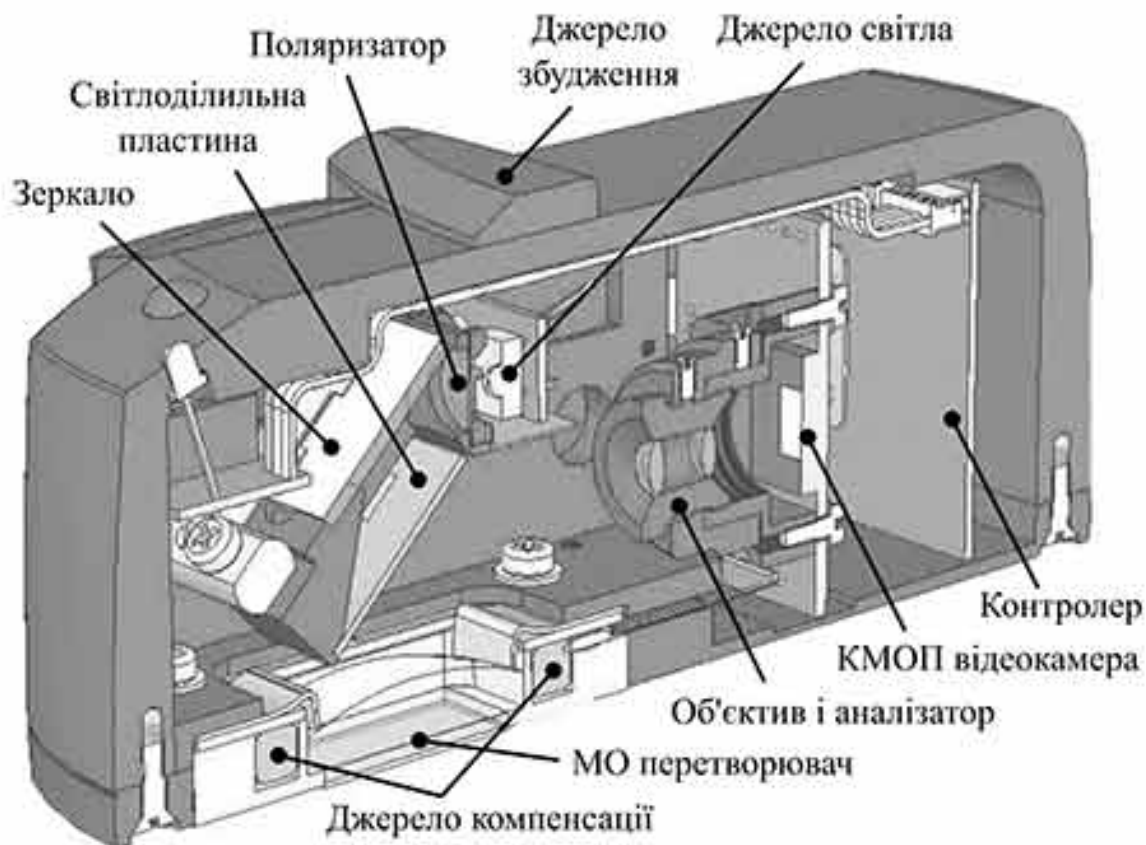


Рис. 4.2 Конструкція експериментальної установки.

Джерело магнітного поля збудження виконано у вигляді магнітного ярма із симетричної пари стержневих магнітопроводів термінальними постійними магнітами ($10 \times 10 \times 25$ мм) зі сплаву неодиму, заліза і бору (NdFeB), що забезпечує тангенціальне поле збудження ≈ 45 мТ. Принцип його роботи показано на рис 4.3. Магнітні поля розсіювання від елементів магнітного захисту документів (1) створюються джерелом магнітного поля збудження (2), Силкові лінії магнітного поля $B_{\text{збуд}}$, створюваного системою підмагнічування лежать у площині магнітооптичного кристалу (3) і не впливають на нього через велику анізотропію за однією віссю. Коли в магнітне поле підмагнічування попадають частки магнітного барвника (4), вони викликають локальні

поперечні відхилення магнітного поля $B_{об}$. Нормальна складова напруженості магнітного поля $B_{об}^n$ впливає на МО кристал, створюючи локальні зони фарадеевського обертання, які перетворюються у видиме зображення схемою магнітооптичної візуалізації.

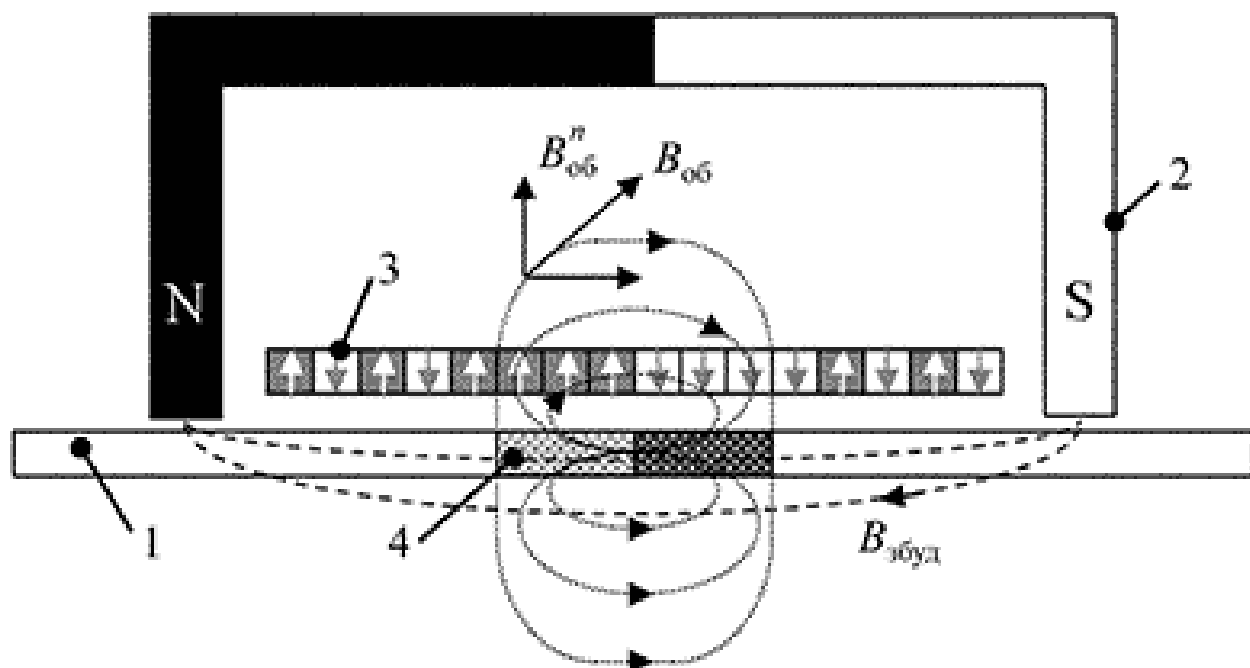


Рис 4.3. Збудження просторового розподілу амплітуд магнітного поля документу.

Джерело магнітного поля компенсації виконано у вигляді плоскої багатовиткової котушки індуктивності з наступними параметрами: кількість витків $W = 175$, середній радіус $r \approx 15$ мм, діаметр провідника $d = 0,2$ мм, індуктивність $L = 1,5$ мГн, постійний опір $R = 8,5$ Ом. Котушка охоплює магнітооптичний перетворювач по периметру. За результатами дослідних випробувань нерівномірністю поля в лощині перетворювача можна знехтувати. Живлення джерела компенсації, враховуючи його істотну індуктивність, виконано за запропонованою корисною моделлю [9] у вигляді частотного регулятора струму реактивного навантаження. Джерело компенсації забезпечує 32 рівні квантування амплітуд магнітного поля в діапазоні $-2,8 \leq B_{комп} \leq 2,8$ мТл. Градування компенсаційної схеми виконано із застосуванням магнітометра Ш1-8.

Функціональна схема МО перетворювача ідентична представлений на

рис. 2.1. Він виконаний на основі перпендикулярно анізотропній ферит-гранатовій плівці (GFF), що виготовлена Joint European Laboratory LEMAC (Україна, м. Сімферополь) з використанням рідкофазної епітаксійної технології на ізоморфному субстраті $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ (GGG). Основний хімічний склад епітаксійного шару $(\text{Bi}, \text{Eu}, \text{Lu})_3(\text{Fe}, \text{Ga}, \text{Al})_5\text{O}_{12}$. Товщина магнітооптичної плівки 4 – 5 мкм, ефективне поле відносної анізотропії 3 – 3,5 кЕ, період рівноважної доменної структури 35 – 40 мкм, коерцитивна сила 0,5 – 0,8 Е, питома фарадеевське обертання 2,2 – 2,3 °/мкм (для довжини хвилі $\lambda = 0,53$ мкм).

КМОП відеокамера з форматом кадру 1280×1024 точок забезпечує фізичний розмір точки 16 мкм в апертурі магнітооптичної візуалізації при полі зору контрольованої площини 20×25 мм.

В результаті проектування створено компактний прилад з інтерфейсом USB та сумірними комп'ютерній миші розмірами. Керування приладом виконується за допомогою спеціального програмного забезпечення, що виконує візуалізацію, кількісну оцінку та порівняння полів розсіяння документів.

4.2 Експериментальне дослідження виявлення фальсифікації банкнот

Сталі тенденції удосконалення способів підробки документів і зростання частки підроблених документів в обігу, відмічені в [3, 79], свідчать про недостатню ефективність методів і засобів контролю їх оригінальності, які існують сьогодні. Зокрема, актуальною прикладною задачею є вимірювання магнітних характеристик у випадках підробки магнітних карт банкнот. Такі підробки виконуються технічно просто при відсутності метамірного друку (рис. 4.4, рис. 4.5), при якому для друку використовується пара фарб, які візуально виглядають однаково, але мають різні, наприклад, магнітні характеристики [80]. За відсутності метамірного друку діагностичне рішення неможливо прийняти по топологічним ознакам, оскільки форми магнітного рисунку у оригінального і фальшивого документу тотожні. В цьому випадку виникає необхідність кількісного дослідження магнітних параметрів

документів, що дозволить розрізнити тип використаного магнітного барвника.



Рис. 4.4. Загальний вигляд банкноті \$1.



Рис.4.5. Магнітна карта банкноти \$1.

Відомі засоби контролю магнітного захисту [64, 81], які використовують магнітооптичний ефект Фарадея в тонкоплівкових перетворювачах на основі епітаксійних плівок ферит-гранатів, успішно вирішують задачі магнітооптичної візуалізації елементів магнітного захисту, що дозволяє виконувати оцінку оригінальності топології магнітних карт об'єктів контролю. Втім, дослідження магнітних характеристик об'єктів контролю виконано в [64] лише частково, у вигляді відносної оцінки, оснований на вимірюванні яскравості точок зображення, що викликається перестроюванням смугової доменної структури магнітооптичного перетворювача магнітними полям розсіяння об'єкта контролю. Отже відомі засоби магнітного контролю не дозволяють ефективну виконувати оцінку оригінальності документів, що видно при порівнянні рис. 4.6 та рис. 4.7.

В результаті експериментальних досліджень отримані набори магнітних характеристик за запропонованим методом контролю деяких типів об'єктів. При

оцінці їх оригінальності використовуються побудовані гістограми розподілу магнітної індукції $n(B_{об})$ та дистанції між ними d , а також модулі магнітного потоку $|\Phi|$ контрольованих областей об'єктів.

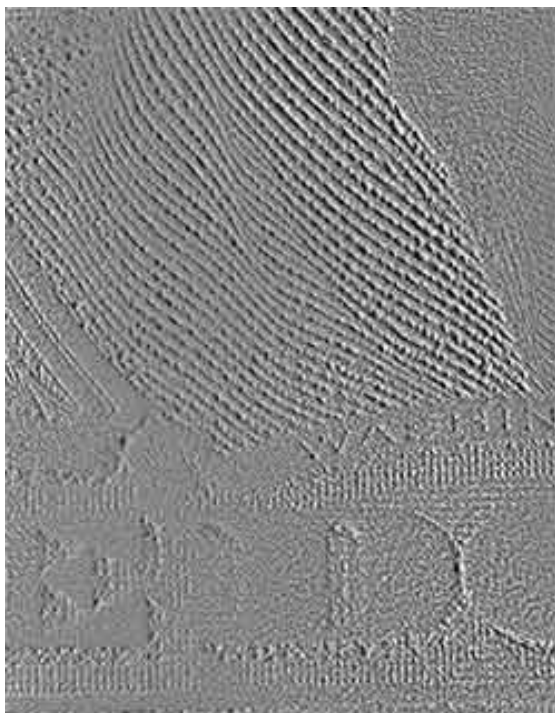


Рис. 4.6. МОВ оригінальної банкноти



Рис. 4.7. МОВ фальшивої банкноти

Отримані експериментальні результати не суперечать критеріям фізичності і результатам аналізу моделі поля розсіяння магнітної фарби. В тому числі підтверджується залежність функцій $n(B_{об})$ та $|\Phi|$ від магнітної проникності, концентрації магнітних частинок об'єктів, а також товщини і густини магнітних штрихів.

Встановлено, що характерними для модуля магнітного потоку доларових банкнот в області високого друку є діапазон значень від 110 до 140 нВб для нових банкнот і від 90 до 120 нВб для старих, зношених банкнот. Для банкнот євро в областях друку магнітом'якою фарбою $|\Phi|$ приймає значення в діапазоні від 12 до 30 нВб для нових банкнот (старі, зношені банкноти не досліджувались). Характерним діапазоном значень дистанції d між гістограмами оригінальних банкнот одного номіналу і типу є величина від 0 до 25, у той час як в парах гістограм оригінальний-фальшивий спостерігаються відхилення d до 90 і більше одиниць.

Кілька випадків кількісного магнітного дослідження запропонованою телевізійною системою контролю представлені на рис 4.8 та рис. 4.9. В першій групі (рис. 4.8) досліджуються банкноти \$1, надруковані фарбою з магнітотвердими властивостями. Результати магнітної оцінки для двох зразків оригінальних банкнот та одного зразка фальшивої банкноти дозволяють впевнено визначити підроблений документ. Так значення магнітного потоку для оригінальних зразків становить 137 – 138 нВб, а для фальшивого — 111 нВб. Значення d для гістограм пари оригінальних банкнот — 2 одиниці, тобто вони майже не відрізняються, у той час як d для пари оригінал-підробка становить 66 – 69 одиниць.

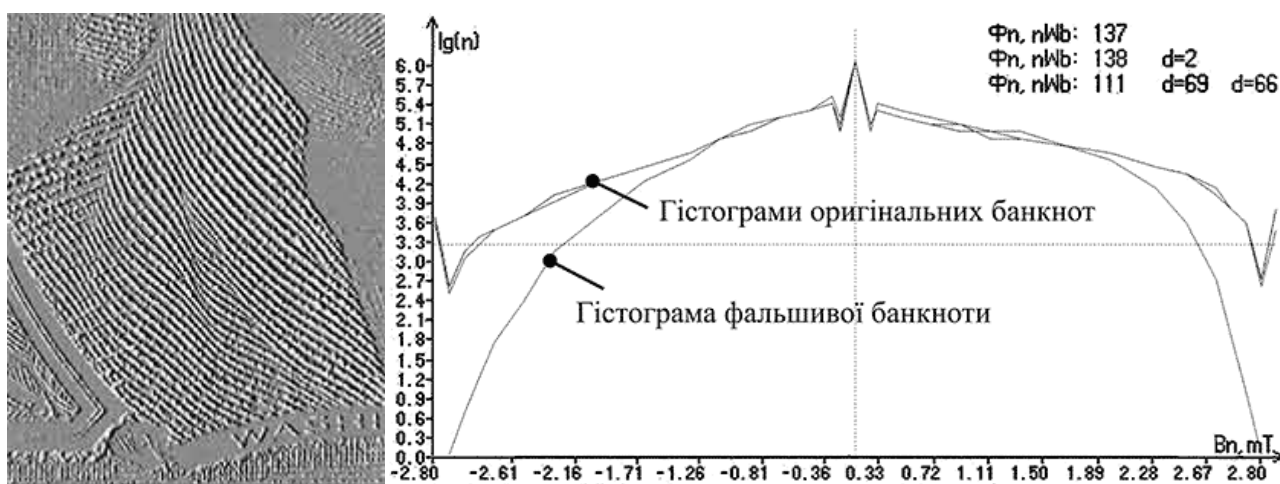


Рис. 4.8. Аналізована область \$1 та гістограми магнітної оцінки.

В другій групі (рис. 4.9) досліджуються банкноти €5, надруковані фарбою з магнітом'якими властивостями. В цьому випадку також впевнено визначається підроблений документ, оскільки значення магнітного потоку для оригінальних зразків становить 14 – 15 нВб, а для фальшивого — 61 нВб, що скоріш за все свідчить про використання для підробки магнітотвердої фарби замість магнітом'якої. Значення d для гістограм пари оригінальних банкнот — 4 одиниці, у той час як гістограми пари оригінал-підробка суттєво відрізняються, дистанція між ними становить 41 – 44 одиниці. Таким чином, коли якісна оцінка не дає можливості розрізнити оригінальні та фальшиві банкноти через тотожність топології їх магнітних компонент (рис. 4.6 – 4.7), можна з успіхом застосовувати запропонований метод кількісного контролю

магнітних параметрів документів.



Рис. 4.9. Аналізована область €5 та гістограми магнітної оцінки.

Отже запропонований метод магнітного контролю документів і розроблений на його основі засіб може використовуватись в банківській сфері з метою виявлення фальсифікації магнітного захисту цінних паперів і грошових знаків з більшою вірогідністю, на відміну від відомих якісних методів (рис. 4.6, рис. 4.7), оскільки результати кількісного магнітного контролю більш повно характеризують досліджувані об'єкти (рис. 4.8, рис. 4.9), а повнота даних про об'єкт визначає вірогідність його контролю.

4.3 Експериментальне дослідження впливу апроксимації та нормалізації на вірогідність класифікації документів.

Уніфікація підготовки об'єктів для порівняння запропонованим методом має велике значення при дослідженні матеріалів магнітного друку. Величина залишкової намагніченості та її напрям істотно впливають на результати магнітного контролю особливо при дослідженні висококоерцитивних матеріалів за відсутності прикладеного поля збудження $B_{збуд}$.

З метою оцінки впливу апроксимації та нормалізації гістограм магнітної оцінки вимірювальний стенд (рис. 4.2) оснащений додатковим джерелом магнітного поля, для намагнічування документу в нормальному відносно МО перетворювача напрямку. Для 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. Зображення отриманих кадрів візуалізації для прямого (А) і зворотного (Б) намагнічування представлено на рис. 4.10.

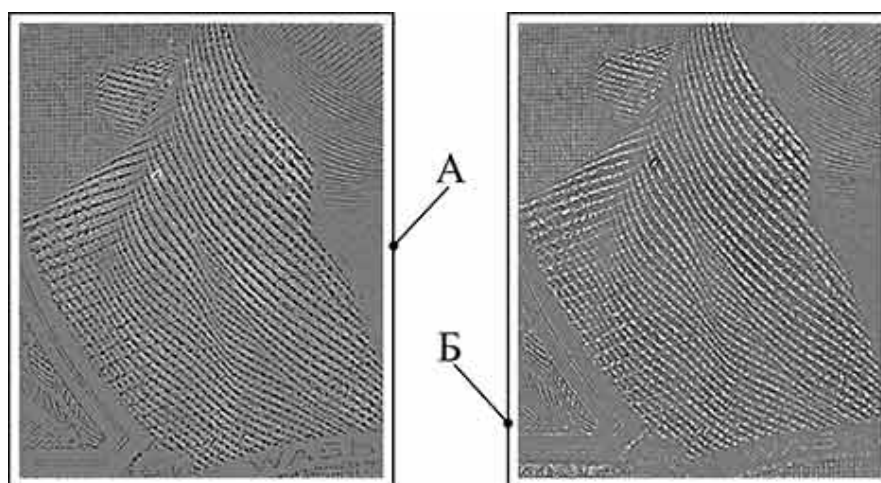


Рис. 4.10. МО візуалізація об'єкта для випадків зустрічного намагнічування.

Результати порівняння вихідних гістограм (А, Б) та нормованих ($A_{\text{норм}}$, $B_{\text{норм}}$) представлені на рис. 4.11. 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.

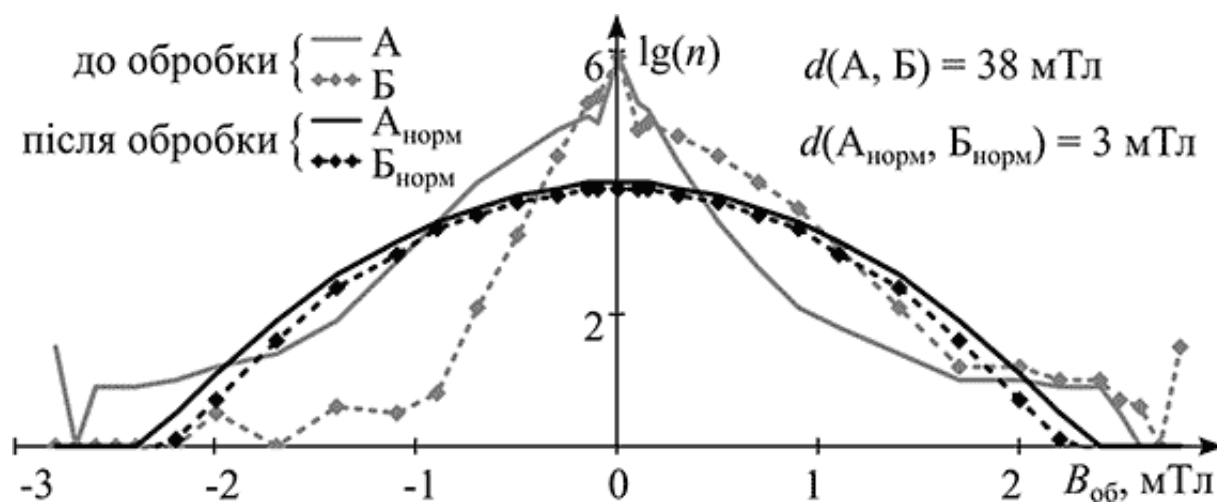


Рис. 4.11. Апроксимація та нормалізація гістограм об'єкту у випадку зустрічного намагнічування.

Розподіли А і Б були апроксимовані і нормалізовані запропонованими функціями (3.10) та (3.11). Ці процедури в даному випадку дозволяють знизити вплив напрямку попереднього намагнічування на результати контролю, що і

треба було досягти. Так показник d знижується більше ніж в десять разів (в ідеалі $d \rightarrow 0$).

При дослідженні документів також буває важко віднайти області з однаковою кількістю магнітної фарби на його сторінках. Таким чином порівнювані області можуть мати відмінні значення модуля магнітного потоку $|\Phi|$, а при оцінці різниці гістограм d , побудованих для двох областей одного і того ж документу з різною густиною заповнення магнітними фарбами може виникати похибка першого роду, коли віднесення результатів оцінки одного об'єкта до одного класу буде неможливо.

Для ілюстрації цього ефекту виготовлено тест-об'єкт, що представляє собою тестову сторінку друку лазерного принтера. На сторінці проведено кількісні оцінки для двох областей: А — область з високою густиною друку та область Б — з низькою. Їх магнітооптична візуалізація представлена на рис. 4.12.

Результати експериментальних досліджень цього об'єкта представлені на рис. 4.13. На графіку подано пари гістограм розподілу магнітної індукції двох областей (А і Б) за якими вкрай важко визначити приналежність цих областей до одного документу через велике розходження модулів магнітного потоку $|\Phi|$ та значної дистанції d їх гістограм.

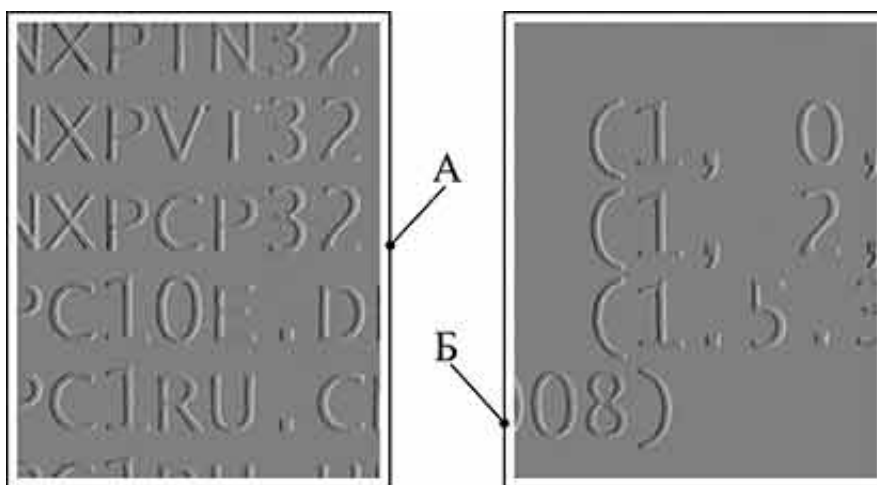


Рис. 4.12. МО візуалізація об'єкта для випадків різної густини друку.

Розподіли А і Б були апроксимовані і нормалізовані запропонованими функціями (3.10) та (3.11). Таким чином отримано ідентичні розподіли ($A_{\text{норм}}$ і

$B_{\text{норм}})$ з дистанцією $d = 0$, що дає можливість говорити про значну спорідненість магнітних властивостей областей А і Б.

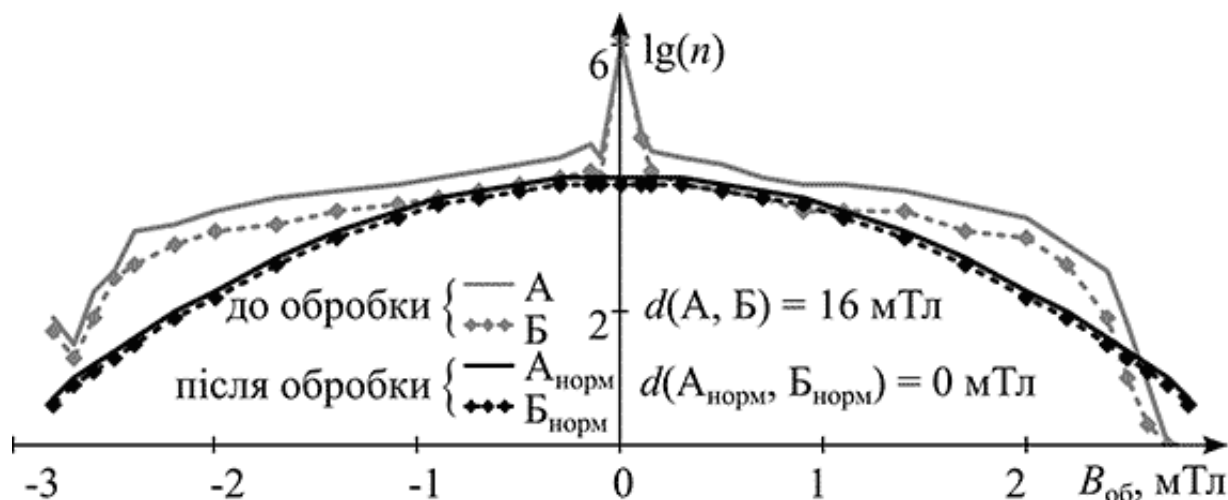


Рис. 4.13. Апроксимація та нормалізація гістограм об'єкту у випадку різної густини друку.

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

4.4 Експериментальне дослідження чутливості та роздільної здатності

Для експериментального дослідження чутливості та роздільної здатності розробленої телевізійної системи магнітооптичного контролю документів за запропонованою методикою, що полягає в оцінці амплітуд сигналів і шумів в зображенні магнітооптичної візуалізації було спроектовано і виготовлено тест-об'єкт (рис. 4.14, а), який представляє собою паперовий носій з друком фарбою з магнітотвердими властивостями. Друк виконано на принтері HP LaserJet P2050 з максимальною роздільністю 1200 т/дюйм. Тест-об'єкт містить набір окремих смуг фарби шириною 1, 2, ... 6 точок (ширина однієї точки $\lambda = 21,1(6) \text{ мкм} = 1/1200 \text{ дюймів}$) для визначення чутливості, а також набір послідовностей двох смуг фарби шириною і на відстані одна від одної

(правильна решітка) 1, 2, ... 6 точок. Такі розміри ліній магнітного рисунку характерні для більшості банкнот світу.

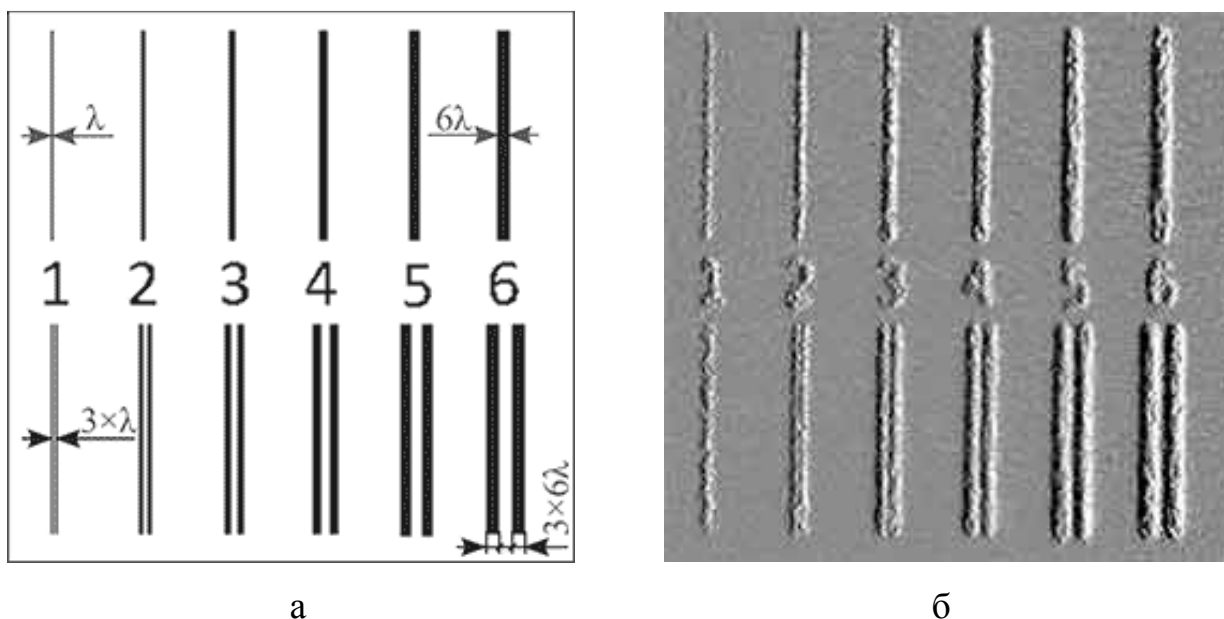


Рис. 4.14. Тест-об'єкт (а) та його МО зображення (б) для визначення чутливості і роздільної здатності контролю магнітного захисту документів
($\lambda = 21,1(6) \text{ мкм} = 1/1200 \text{ дюймів}$).

На рис. 4.14 (б) подано зображення МОВ тест об'єкта як $\Delta \bar{A}(i, j)$ (3.15), сформоване з десятих значень кадрів візуалізації тест-об'єкта та десятих фонових зображень за його відсутності. Подібним чином ПЗ розробленої МОТС дозволяє знизити динамічні шуми зображення за рахунок накопичення кадрів МО візуалізації з постійним сигналом. Домени МО перетворювача перемагнічуються в двох напрямках, одному з яких в зображенні візуалізації відповідає чорний колір, а іншому білий. Проміжні величини яскравості утворюються через сумірність просторових структур матриці ДТС та МО перетворювача. Так на одну точку зображення ДТС відражається точка МО перетворювача (предметної площини) розміром 16 мкм, просторовий період смугової доменної структури якого складає 45 мкм. Також дебінаризації зображення сприяють спотворення і шуми оптичної системи.

Після виконання МО візуалізації проводиться сегментація зображення (рис. 4.15). Сегмент шуму “Ш” визначається областю з апіорі відсутнім сигналом. Сегменти сигналу чутливості “С_{ч1} – С_{ч6}” визначено за областями

одинарних штрихів шириною від 21 до 127 мкм.

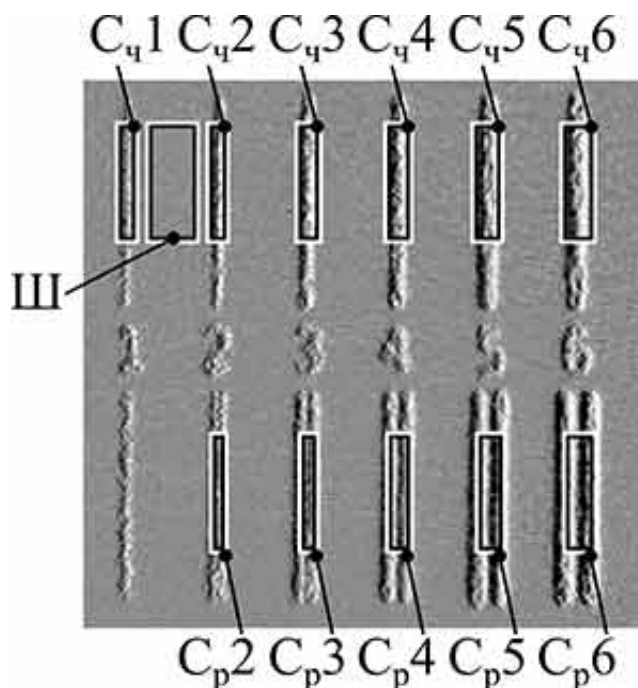


Рис. 4.15. Сегментація тест-об'єкта за областями сигналів і шумів.

Сегменти сигналу роздільної здатності “ $C_{p2} - C_{p6}$ ” визначено за запропонованою методикою (рис. 3.12) з побудовою середнього розподілу яскравості МО зображення вдовж прямих, перпендикулярних подвійним штрихам шириною i на відстані від 21 до 127 мкм (рис. 4.16). Горизонтальні границі сегментів сигналу роздільної здатності визначаються внутрішніми екстремумами функції розподілу яскравості МО зображення. В даному випадку визначити границі сегменту “ C_{p1} ” неможливо, оскільки внутрішні екстремуми взаємовіднімаються. В цьому випадку створена телевізійна система реєструє лише початок і кінець послідовності штрихів. Тому сигнал розрізнення найтонших штрихів на відстані 21 мкм рівний нулю.

Для кожного з визначених сегментів вираховані потужності їх даних за (3.16) та (3.17). Оскільки на виході телевізійної системи сигнал яскравості подається у відносних величинах в діапазоні 0 – 255, то і значення амплітуд сигналів і шумів також представлені у відносних величинах у. о. Результати обчислень подані на діаграмі (рис. 4.17).

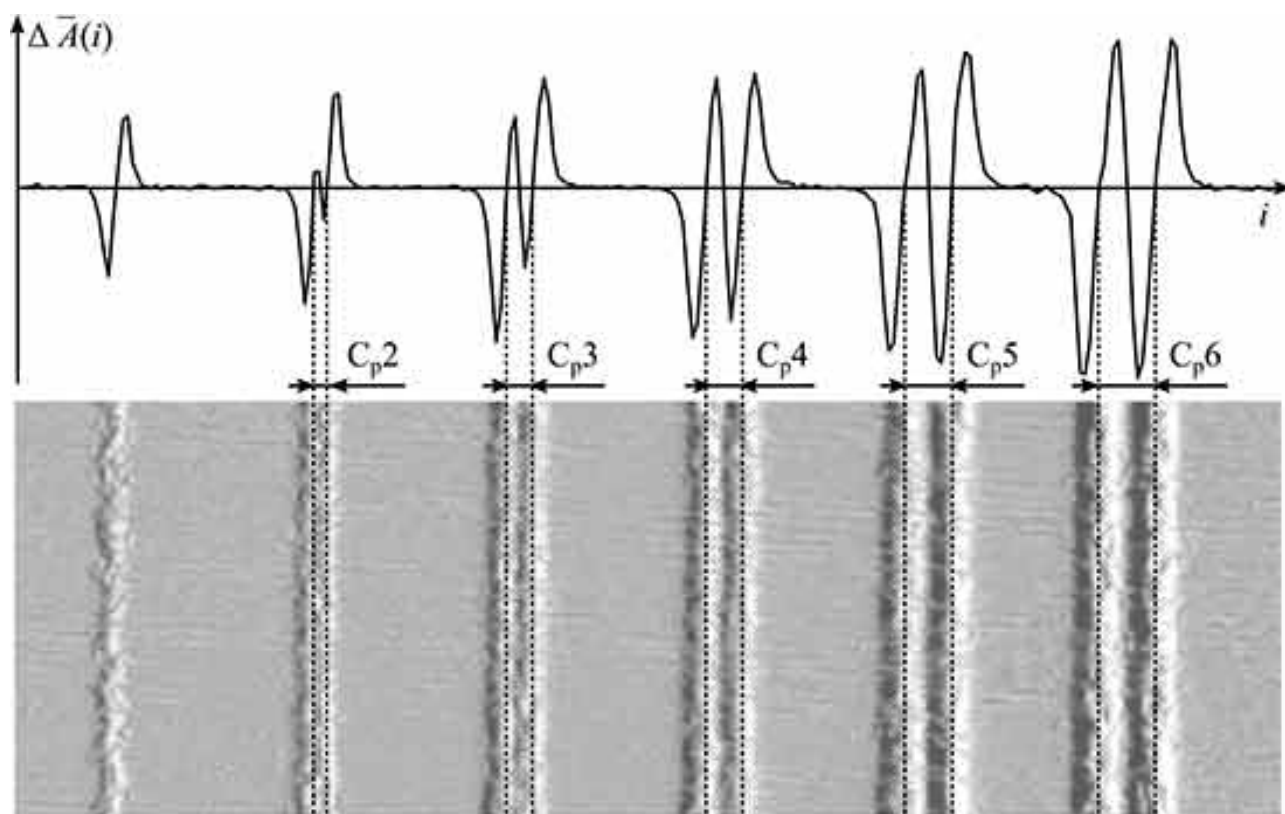


Рисунок 4.16. Визначення границь сегментів сигналу роздільної здатності МО зображення за усередненим просторовим розподілом його яскравості.

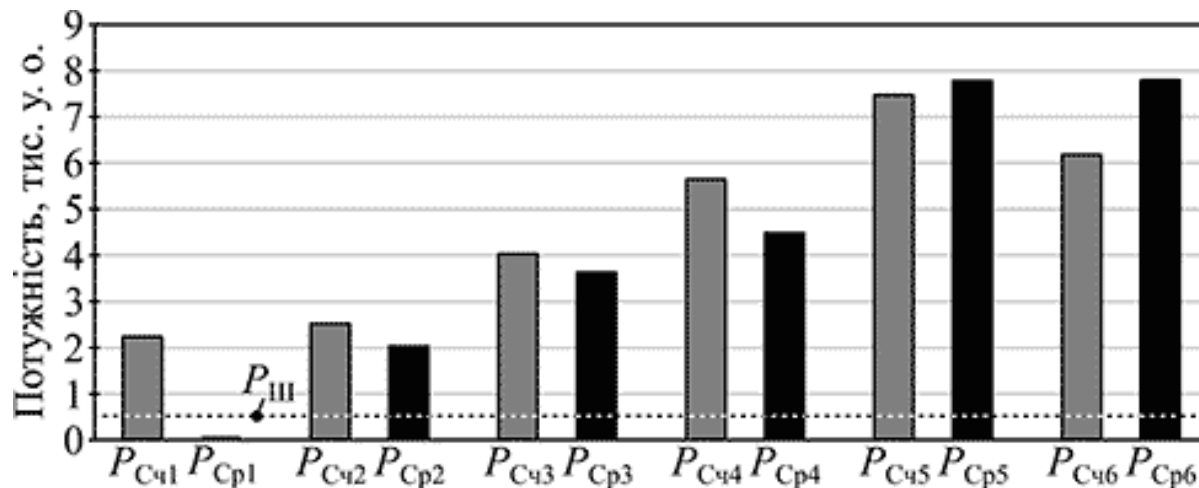


Рисунок 4.17. Потужності сигналів і шуму МО зображення відповідних сегментів тест-об'єкту.

Як видно з діаграми (рис. 4.17), характер розподілу потужності цілком прогнозований: зі збільшенням розміру дефекту (ширини штриха), збільшується потужність сигналу. Незначне зменшення потужності сигналу чутливості для найширшого штриха ($P_{Cч6}$) пояснюється зменшенням напруженості магнітного поля в середній частині сегменту відповідно до

теоретичного розподілу (рис. 2.4, б), коли роздільна здатність системи дозволяє розрізняти окремі крайки штриха (похибка сегментування). Отже даний спосіб сегментації адекватний лише для випадків сумірності ширини штрихів та просторового періоду смугової доменної структури МО перетворювача. Потужність сигналу розрізнення окремих штрихів на відстані 21 мкм (P_{Cp1}) рівна нулю, оскільки роздільна здатність MOTС не дає можливості коректно сегментувати МО зображення цих штрихів. Визначені співвідношення сигнал-шум MOTС при дослідженні тест-об'єкту (рис. 4.14) подані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Співвідношення сигнал-шум MOTС при візуалізації штрихів магнітної фарби

Розмір штрихів, мкм	21	42	64	85	106	127
SNR_{dB} , дБ (чутливість)	6,5	7	9	10,5	11,8	10,9
SNR_{dB} , дБ (розд. здатність)	—	6	8,6	9,5	11,9	11,9

Чутливість MOTС дозволяє впевнено детектувати найменший штрих магнітотвердої фарби товщиною 21 мкм при цьому відношення сигнал/шум складає 6,5 дБ. Розрізнення найтонших штрихів шириною і на відстані 21 мкм фізично неможливо. Для подвійних штрихів на відстані 42 мкм стає можливим візуальне розрізнення окремих крайок штрихів, при чому $SNR_{dB} = 6$ дБ. Якщо прийняти поріг $SNR_{dB \min} = 3$ дБ, тоді, за результатами експериментального дослідження тест-об'єкта (рис. 4.14) створена ТС для дослідження магнітних параметрів документів дозволяє візуалізувати штрих магнітотвердої фарби шириною більше 21 мкм, її роздільна здатність дозволяє розрізняти штрихи товщиною більше 42 мкм з достатнім співвідношенням сигнал/шум.

Окрім кількісної оцінки чутливості та роздільної здатності на тестовому об'єкті, проведена також і якісна оцінка запропонованого засобу за допомогою трасологічного аналізу набору натурних об'єктів (банкнот €50). Результати їх візуалізації подано на рис. 4.18.

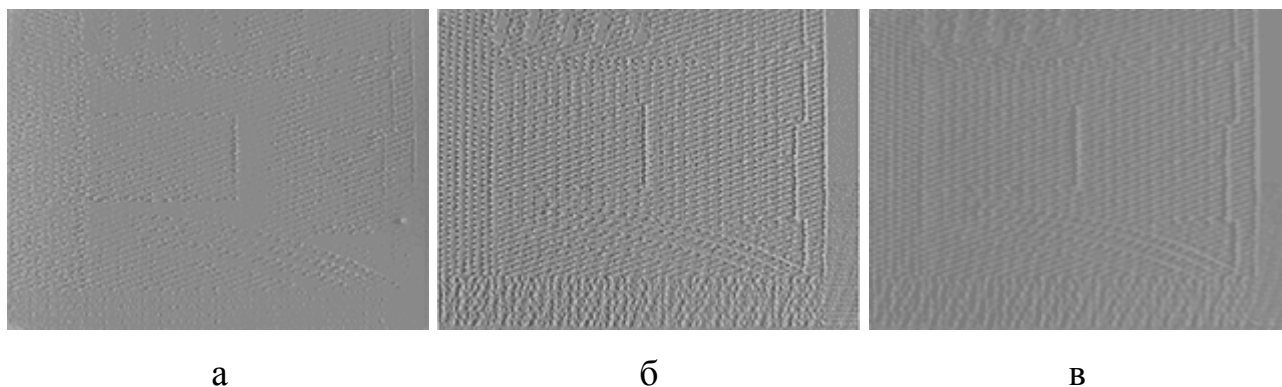


Рис. 4.18. Візуалізація магнітного захисту фрагменту банкноти 50 €

(а — оригінал, б — підробка 1, в — підробка 2).

Трасологічне дослідження магнітного захисту виконується за сукупністю параметрів, представлених в таблиці 4.2. Як видно з таблиці магнітооптична телевізійна система дозволяє впевнено виявляти відмінності магнітного друку підроблених зразків та оригінального.

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 автентифікації документів.

Таблиця 4.2. Трасологічне дослідження фрагменту банкноти 50 €.

Параметр порівняння	Оригінал	Підробка 1	Підробка 2
Дискретність та періодичність друку	—	+/-	—
Роздільна здатність друку	90 мкм	140 мкм	200 мкм
Магнітна фактура фарби	зерниста	гладка	гладка
Профіль перерізу штрихів	конус	циліндр	циліндр
Монотонність ширини	—	+	+
Неперервність тонких штрихів	—	+	+
Чіткість/різкість МО зображення	+	+	—

4.5 Експериментальне дослідження ідентифікації принтерного друку

Як зазначалося в першому розділі роботи, відомі методи магнітооптичного контролю документів не дозволяють класифікувати зразки магнітного друку різних принтерів, оскільки магнітооптичне зображення їх

відбитків виглядає абсолютно однаково (рис. 4.19, а, б). З використанням відомих методів магнітооптичного контролю можна визначити лише тип барвника: немагнітний (взагалі не візуалізується — рис. 4.19, в), магнітом'який (візуалізується лише при дії зовнішнього магнітного поля $B_{зб\text{уд}}$ (рис. 4.3)) або магнітотвердий (попередньо намагнічений візуалізується без $B_{зб\text{уд}}$).

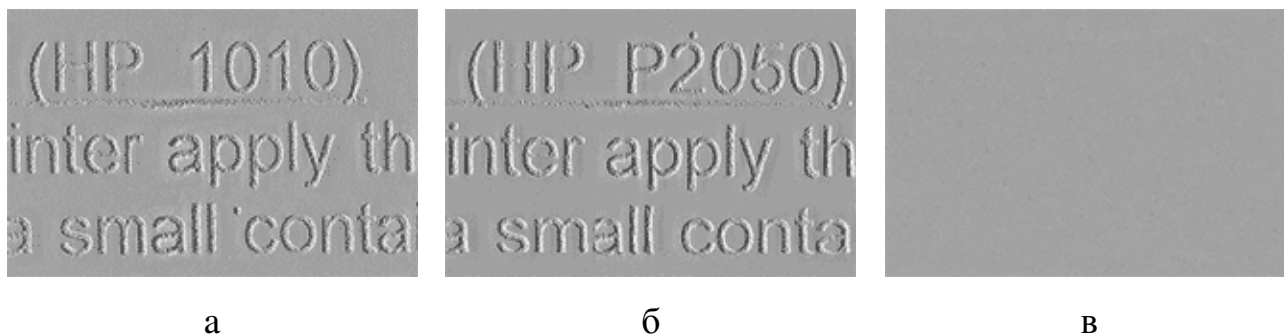


Рис. 4.19 Магнітооптичне зображення документів, надрукованих принтерами з магнітною фарбою HP LaserJet 1010 (а) і HP Deskjet 2050 (б), та немагнітною фарбою HP LaserJet CP 1025 (в).

З додаванням запропонованого методу кількісної оцінки магнітних властивостей з'являється потенційна можливість більш тонкої ідентифікації принтерного друку, що дозволяє виявляти фальсифікацію документів додрукуванням або підміною сторінок.

Практична методика контролю цілісності документів, виконаних магнітним друком, полягає в визначенні областей документу та виконання порівняльної оцінки результатів їх магнітного контролю. В ході підготовки експерименту виявлено особливість відбитків лазерних принтерів, що допомагає ідентифікувати засіб, яким його зроблено. Відбитки мають нерівномірну густину магнітного матеріалу вздовж осі друкувального барабану, пов'язані з нерівномірним зносом і забрудненням тракту друку. Цей ефект візуально може спостерігатись у вигляді вертикальних ліній на листі документу і може бути виявленим запропонованим методом значно раніше, ніж він почне проявлятися візуально. Показник, що характеризує нерівномірність подачі тонера по ширині області друку, може використовуватись для оцінки ідентичності документів.

В об'єкті дослідження обирається область сканування з відносно рівномірним заповненням магнітним матеріалом і виконується оцінка модулю магнітного потоку областей вздовж строки. На рис. 4.20 показано розподіли двох строк одного з досліджуваних відбитків, які підтверджують сталість закономірності розподілу магнітного потоку по ширині друку. Оцінка міри подібності досліджуваних об'єктів буде проводитись в областях з екстремально високою (кадр 8) та низькою (кадри 3) густиною друку, яка характерна для контрольного зразка.

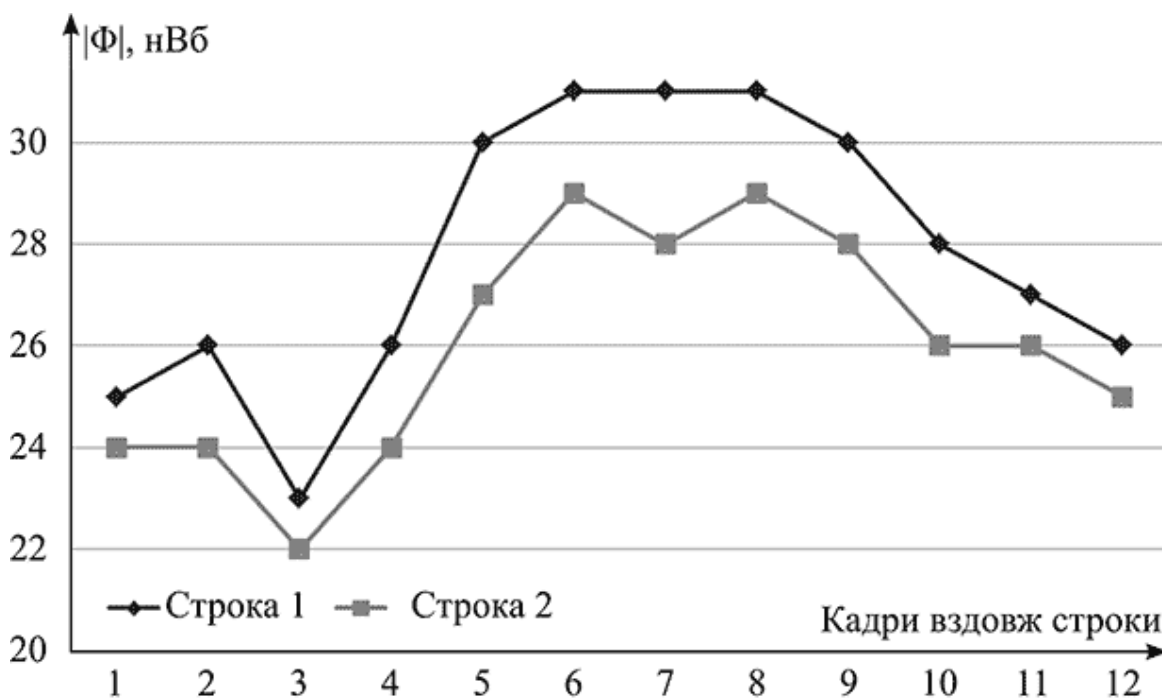


Рис. 4.20. Розподіл магнітного потоку по кадрах вздовж двох строк одного відбитку лазерного принтера.

Для оцінки можливості ідентифікації принтерного друку на основі кількісної магнітної оцінки запропонованим методом виготовлено масив експериментальних об'єктів. Він включає 10 тестових сторінок друку різних принтерів, 8 з яких виконані магнітною фарбою, що виявилось в процесі експериментального дослідження.

Вірогідність правильної ідентифікації зразків принтерного друку визначається відношенням кількості $n_{\text{визн}}$ правильно визначених за результатом експерименту зразків, як надрукованих іншим принтером до загальної кількості n_{Σ} зразків, надрукованих іншим принтером (4.1).

$$P = \frac{n_{\text{визн}}}{n_{\Sigma}} \quad (4.1)$$

Порівняння документів відомим якісним методом магнітної оцінки тільки за зображенням його магнітооптичної візуалізації дає можливість визначити лише тип фарбника — магнітний або немагнітний (рис. 4.19). Тому в даному експерименті для всіх сторінок з немагнітними фарбами вірогідність визначення друку іншого принтера складає $8 / 9 = 89 \%$. Але вони не є об'єктами магнітного контролю тому відкидаються з подальшого розгляду. У той же час для зразків магнітного друку (4.1) складає $2 / 9 = 22 \%$. Тобто вірогідність виявлення підробки магнітного друку вкрай низька. Виправити цю ситуацію можна за рахунок виконання кількісної магнітної оцінки запропонованим методом.

Для кожної сторінки з магнітним друком виконано по парі оцінок розподілу магнітної індукції, після чого виконано попарне порівняння 16 вихідних гістограм між собою, а також попарне порівняння 16 апроксимованих 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. Наприклад, якщо максимальна величина дистанцій гістограм одного документу “Документ 1” становить d_{max} одиниць, то будь-які документи, гістограми якого мають дистанцію у парі з гістограмами документу “Документ 1” $d > d_{\text{max}}$, вважаються надрукованими іншим принтером (сфальсифікованими), а при $d \leq d_{\text{max}}$ — помилково вважаються надрукованими тим самим принтером, що і “Документ 1”. Вірогідність правильної ідентифікації принтерного друку визначається відношенням кількості визначених за $d > d_{\text{max}}$ до загальної кількості документів, надрукованих іншим принтером (4.1). Оцінка вірогідності правильної ідентифікації для всіх зразків магнітного друку представлена на рис. 4.21.

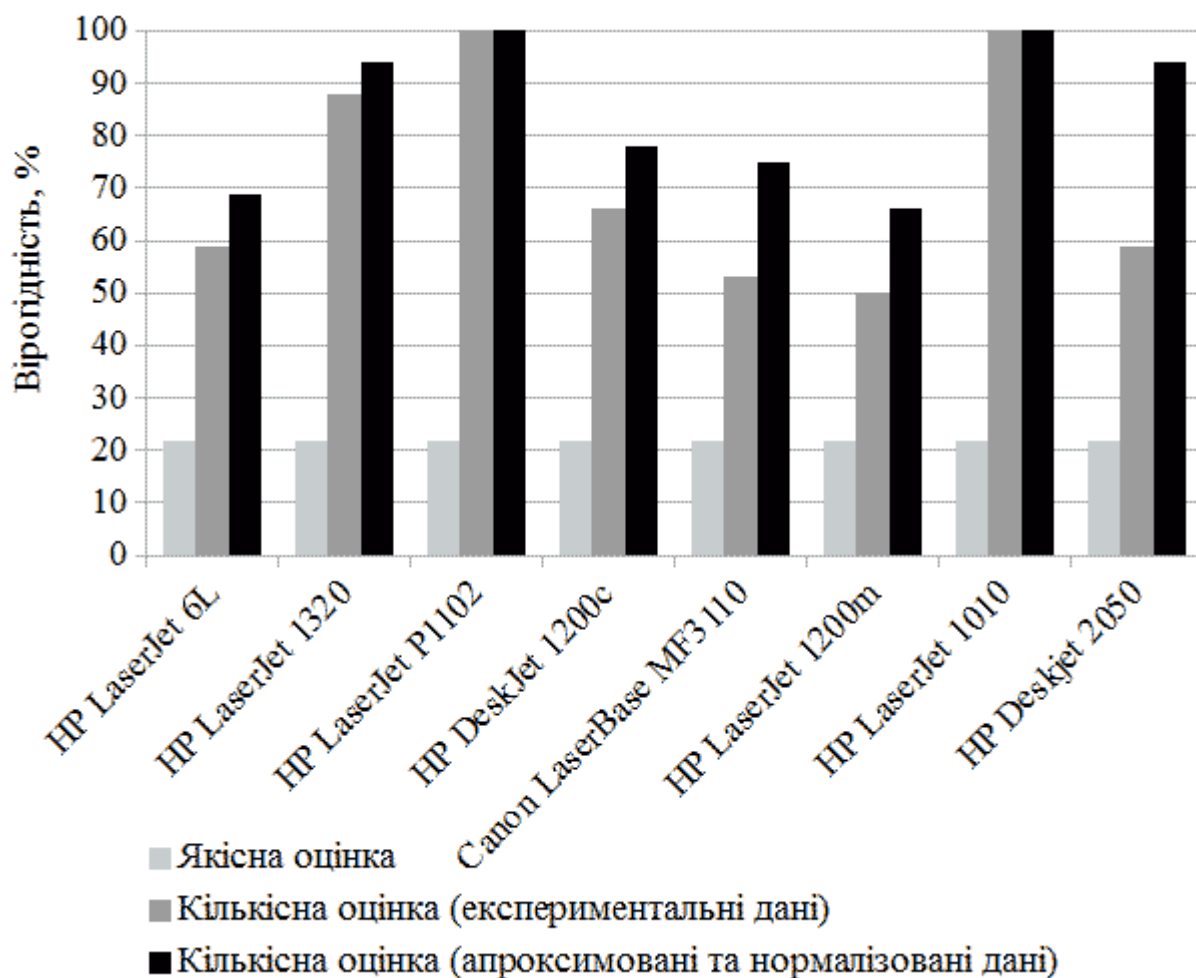


Рис. 4.21. Вірогідність правильної ідентифікації принтерного друку.

Світло-сірі стовпці відражають вірогідність правильної ідентифікації принтерного друку (імовірність виявлення додрукування) за відомим якісним методом, сірі — за запропонованим методом при порівнянні вихідних експериментальних гістограм, отримуваних безпосередньо в процесі кількісної оцінки розподілу магнітної індукції, чорні — обчислені за дистанціями апроксимованих та нормалізованих гістограм. За відомим якісним методом для всіх магнітних документів вірогідність виявлення становить лише 22 % оскільки він дає можливість лише виявити магнітний матеріал, але не дозволяє розрізнити його магнітні характеристики. При порівнянні за запропонованим методом кількісної оцінки для вихідних даних вірогідність приймає значення 50 – 100 %, а для апроксимованих та нормалізованих — 66 – 100 %, при чому для всіх зразків документів застосування апроксимації покращує результат оцінки вірогідності. Це пов'язано з тим, що апроксимація і нормалізація

вихідних гістограм зменшує показник дистанції d_{\max} “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 передрукуванням сторінок.

4.6 Результати дослідної експлуатації і впровадження

Запропонований метод кількісної оцінки магнітних властивостей документів, а також методи обробки і порівняння даних оцінки використано при проектуванні та втілено в конструкції в магнітооптичних телевізійних систем контролю “Регула 4197” та “Регула 7701М”, що підтверджується відповідним актом впровадження (у додатку).

Магнітооптичний візуалізатор “Регула 4197” являє собою малогабаритний ручний сканер (рис. 4.22), призначений для проведення експертних досліджень магнітних елементів захисту документів. Сканер дозволяє зробити видимим зображення, виконані магнітними барвниками, стрічками, волокнами й іншими магнітними матеріалами за допомогою засобів МО візуалізації і спеціальної системи підмагнічування. Візуалізовані зображення виводиться на монітор комп’ютера, і можуть бути збережені у вигляді файлів звичайних растрових графічних форматів. Окрім магнітооптичної візуалізації, яку здатні проводити наявні пристрої подібного типу, існує можливість проводити і кількісний контроль магнітних параметрів документів.

Можливими областями застосування приладу “Регула 4197” є: судова криміналістика, виробництво цінних паперів, банкнот, бланків, банківська справа, митний контроль.



Рис. 4.22. Зовнішній вигляд приладу “Регула 4197” в роботі з ПК.

Автоматизований пристрій магнітооптичної візуалізації “Регула 7701М” виконано за принципом 2-координатного планшетного сканера (рис. 4.23) з нерухомим предметним столом, для розміщення досліджуваного документу, рухомий за висотою портал і рухому за шириною каретку, що містить вузол магнітооптичної візуалізації та систему підмагнічування. Така конструкція дозволяє виконувати панорамну зшивку магнітооптичних зображень областей дослідження з метою побудови магнітних карт досліджуваних документів, забезпечуючи їх повний якісний (топологічний та трасологічний) контроль.

Водночас пристрій “Регула 7701М” здатен виконувати і кількісний контроль завдяки розробленим і впровадженим методам вимірювання і обробки магнітних параметрів документів з використанням МОТС.



Рис. 4.23. Зовнішній вигляд приладу “Регула 7701М”.

Обидва пристрої, модернізовані за результатами даної роботи, отримали нову виняткову функцію — магнітні вимірювання, яка вирізняє їх серед інших на ринку пристроїв подібного типу. Функція магнітних вимірювань дозволяє отримувати для досліджуваних областей документів:

1. Наочне представлення розподілу магнітної індукції у вигляді зображення візуалізації.
2. Гістограми розподілу магнітної індукції.
3. Модулі нормальної складовою магнітного потоку.
4. Апроксимовані та нормалізовані гістограми.
5. Об’єктивне кількісне порівняння магнітних властивостей документів.

Порівняльна характеристика між пристроями, в яких впроваджено результати даної роботи та іншими відомими пристроями на ринку засобів магнітного контролю документів, цінних паперів і грошових знаків наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3.

Порівняльна характеристика пристроїв магнітного контролю документів.

Пристрої контролю	Види контролю магнітних складових				Комплексний контроль
	Наявність	Топологія	Трасологія	Топографія	
Регула 7701M	+	+	+	+	+
Регула 4197	+	+/-	+	+	+/-
Інші МО пристрої	+	+/-	+	-	-
Гальваноманітні та магніто-електричні	+	-	-	+	-

Як видно з таблиці, програмно-апаратні комплекси “Регула 4197” та “Регула 7701M” 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.

Висновки до четвертого розділу

1. Розроблений метод кількісного контролю магнітних параметрів документів втілено у засобі, який включає: пристрій збудження магнітних полів у вигляді П-подібного магніту, пристрій компенсації у вигляді плоскої багатовиткової котушки, що оточує контрольовану зону, магнітооптичний перетворювач і датчик телевізійного сигналу, завдяки яким зображення просторового розподілу магнітних полів документу перетворюється в цифрову електронну форму та передається на обробку до ЕОМ. Комп’ютер, в свою чергу, реалізує запропоновані методи вимірювання магнітної індукції областей

документів та їх порівняння.

2. Для розглянутих зразків банкнот підтверджена можливість виявлення фальсифікації їх магнітного захисту за допомогою розробленої МОТС за рахунок використання запропонованого методу кількісного магнітного контролю, який не забезпечується існуючими МОТС. Застосування лише якісного методу не дає такої можливості через геометричну (топологічну) ідентичність магнітного рисунку документів.

3. 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 6,5 дБ. Роздільна здатність засобу забезпечує розрізнення окремих штрихів магнітної фарби на відстані 42 мкм зі співвідношенням сигнал/шум 6 дБ.

4. Для розглянутих зразків магнітного друку побутовими принтерами розроблений засіб контролю дає змогу класифікувати та виявляти їх фальсифікацію. При цьому забезпечується вірогідність коректного розпізнання подруккування іншим принтером від 50 % до 100 % для вихідних даних і від 66 % для апроксимованих. При цьому без застосування кількісного контролю вірогідність становить лише 22%, оскільки якісний магнітооптичний контроль дає можливість виявляти лише грубі підробки немагнітною фарбою.

5. Наукові та практичні результати роботи використано при проектуванні та втілено в конструкції в магнітооптичних телевізійних систем контролю “Регула 4197” та “Регула 7701М”, які на відміну від відомих аналогів забезпечують можливість комплексного дослідження як топологічних так і топографічних властивостей 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.

ВИСНОВКИ

Коротка оцінка стану проблеми. Задачі контролю оригінальності документів (у т. ч. цінних паперів і грошових знаків) постійно ускладнюються та актуалізуються через своєрідну “гонку озброєнь” між виробниками оригінальних та фальшивих документів. Найбільш перспективним є контроль магнітних параметрів документів, оскільки в цій галузі існують невирішені питання методів і засобів, що знижує вірогідність аутентифікації документів.

Відомі методи контролю магнітних параметрів документів розрізняють за типом контролю: кількісний або якісний. Забезпечення високої вірогідності контролю вимагає виконання комплексного контролю — застосування як якісних так і кількісних методів, що ускладнено необхідністю використання декількох типів датчиків зі спеціалізованими методами обробки сигналів. Існує потенційна можливість комплексного контролю з використанням лише магнітооптичного датчика. При цьому використовується принцип компенсації, в якому вимірювана величина магнітного поля визначається струмом допоміжного джерела, а магнітооптична плівка використовується у якості нуль-детектора.

Такий підхід розширення динамічного діапазону магнітооптичного перетворювача не застосовується для контролю магнітного захисту документів через недостатньо опрацьовані питання збудження поля розсіяння магнітної фарби документів, його взаємодії з магнітооптичним перетворювачем, відсутні напрацювання щодо вимірювання, обробки та порівняння магнітних параметрів документів з використанням магнітооптичних телевізійних систем. Тому комплексний (більш вірогідний) контроль магнітних параметрів документів магнітооптичними засобами наразі не проводиться. Сучасні магнітооптичні телевізійні системи контролю магнітних параметрів документів забезпечують лише якісний контроль.

Формулювання вирішеної в дисертації наукової задачі. 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.

Методи вирішення поставленої в дисертації наукової задачі. 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.

Найбільш важливі наукові і практичні результати, отримані в дисертації:

1. Розроблено магнітооптичну телевізійну систему, яка за рахунок систем формування і компенсації двовимірного розподілу розсіяного магнітного поля елементів документа та виконання цифрової автоматизованої обробки магнітооптичних 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, що 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 двовірного розподілу індукції магнітного поля документу.

5. Запропоновано методику оцінки чутливості та роздільної здатності основану 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 відомим 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.

Значення вирішеної наукової задачі для теорії і практики. В дисертаційній роботі удосконалено метод магнітооптичного топографування введенням допоміжного джерела збудження інформаційного сигналу магнітних елементів документу та заміною методу обробки даних, що дозволило використовувати його для кількісного контролю магнітних параметрів документів. З метою його практичного застосування розроблено узагальнений метод кількісного контролю магнітних параметрів документів з використанням МОТС, що ґрунтується на побудові гістограм розподілу магнітної індукції, їх апроксимації, нормалізації та порівнянні, що дозволяє класифікувати зразки магнітного друку зі зниженим впливом шумів магнітооптичного перетворення, чутливістю до зміни параметрів намагнічування та неоднорідностей щільності друку. Отримані в дисертаційній роботі результати є вкладом в теорію вимірювання просторового розподілу магнітного поля та обробки сигналів телевізійних систем.

Розроблені методи вимірювання і обробки магнітних параметрів документів можуть бути використані при проектуванні перспективних і модернізації наявних магнітооптичних телевізійних систем контролю документів з метою підвищення вірогідності та забезпечення комплексного

магнітного контролю документів.

Висновки і рекомендації щодо наукового та практичного використання отриманих результатів. Отримані в дисертаційній роботі нові теоретичні положення доцільно використовувати в проектних і науково-дослідницьких організаціях, які пов'язані з розробкою сучасних телевізійних систем вимірювання просторового розподілу магнітного поля і контролю різноманітних об'єктів з магнітними властивостями, у т. ч. документів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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.
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.
3. 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.
4. Левый С. В. Неразрушающий контроль элементов магнитной защиты документов / [Левый С. В., Агалиди Ю. С., Мачнев А. М., Пономарев С. Л., Кожухарь П. В.] // Тези доповіді IV Міжнародної науково-практичної конференції “Спеціальна техніка у правоохоронній діяльності”. — Україна, Київ, 2009.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.

9. 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 u 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.

10.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.

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.

13. Галяшина Е. И. Теория и практика судебной экспертизы / [Галяшина Е. И., Смотров С. А., Шашкин С. Б., Молоков Э. П.]. — СПб.: Питер, 2003. — 704 с.: ил.

14. Салтевський М. В. Криміналістика (у сучасному викладі): Підручник. — К.: Кондор, 2005. — 588 с.: іл.

15. Павлов И. В. Контроль подлинности документов, ценных бумаг и денежных знаков: Учеб. — справочное пособие. / Павлов И. В., Потапов А. И. — Москва: Техносфера, 2006. — 472 с.

16. Червинский М. М. Методы и средства измерений магнитных характеристик пленок / Червинский М. М., Глаголев С. Ф., Архангельский В. Б. — Л.:

Энергоатомиздат, 1990. — 208 с.: ил.

17. Рандошкин В. В. Прикладная магнитооптика / Рандошкин В. В., Червоненкис А. Я. — М.: «Энергоатомиздат», 1990. — 320 с.

18. Levy S. V. Magnetic field topographical survey by space-time light modulators / Ostrovsky A. S., Agalidi Yu. S. // SPIE Proceedings Vol. 2108, 1993. — p. 142 – 146.

19. Абакумов А. А. Магнитная интроскопия. — М.: «Энергоатомиздат», 1996. — 272 с., с ил.

20. Агалиди Ю. С. Магнитооптическая дефектоскопия приповерхностных слоёв ферромагнитных изделий / Агалиди Ю. С., Левый С. В., Посыпайко Ю. Н., Троицкий В. А. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 2007. — №4. — с. 16 – 21.

21. Фалькевич А. С. Магнитографический контроль сварных соединений / Фалькевич А. С., Хусанов М. Х. — М.: «Машиностроение», 1966. — 176 с.

22. Кубраков Н. Ф. Метод МО визуализации и топографирования пространственно неоднородных магнитных полей. // Труды ИОФАН — М.: «Наука», 1992, том 35.

23. Бухарев А. А. Диагностика поверхности с помощью сканирующей зондовой микроскопии (обзор) / Бухарев А. А., Овчинников Д. В., Бухарева А. А. // Заводская лаборатория, 1997. — №5. — с. 10 – 27.

24. Коновалов Д. А. Автоматизированный сканирующий магнитополяриметр для исследования тонких плёнок / Коновалов Д. А., Гумаров Г. Г., Петухов В. Ю. // Казанский физико-технический институт имени Е. К. Завойского, Ежегодник. — Казань: ФизтехПресс, 2010. — №201. — с. 84 – 87.

25. Иванов В. Е. Магнитооптические изображения неоднородных магнитных полей в металлических пленках с плоскостной анизотропией / Иванов В. Е., Лепаловский В. Н., Журнал технической физики, 2012. — том 82, вып. 5. — с 82 – 92.

26. Masanori Abe. Method and apparatus for optically measuring electric current and/or magnetic field / Masanori Abe, Syunzo Mase, Yoshinari Kozuka.

U. S. Patent 4956607. — Sep. 11, 1990.

27. Yen-Zen Lee. Method and apparatus for optically measuring electric current and/or magnetic field with temperature compensation / Yen-Zen Lee, K. Roger Lee. U. S. Patent 5416860. — May 16, 1995.

28. Афанасьев Ю. В. Средства измерений параметров магнитного поля / [Афанасьев Ю. В, Студенцов Н.В. и др.]. — Л.: Энергия. Ленингр. Отд-ние, 1979. — 320 с., ил.

29. М. А. Ураксеев. Информационно-измерительное устройство контроля магнитного поля и электрического тока / М. А. Ураксеев, К. В. Соловей. Пат. 62713 РФ, МПК G01R29/00, заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет. — Заявл. 14.12.2006, опубл. 27.04.2007.

30. A. J. Rogers. Optical measurement of current and voltage on power systems // IEEE Journ. Electr. Power. Appl, 1979. — vol.2, p. 120 – 126

31. R. L. Patterson. A Fiber-Optic Current Sensor for Aerospace Applications / R. L. Patterson, A. N. Rose, D. Tang, G. .Day // IEEE AES System Magazine, December 1990.

32. K. P. Koo. A compact fiber-optic magnetometer employing an amorphous metal wire transducer / K. P. Koo, F. Bucholtz, D. M. Dangenais, A. Dandridge // IEEE Photonics Technology Letters, 1989. — vol.1, № 12. — p.464-466.

33. A J. Rogers. Optical fiber current measurement // Intern. Journ. Optoelectronics, 1998. — vol.3, № 5, p. 120 – 126

34. Потапов В. Т. Волоконно-оптические датчики магнитного поля и электрического тока на основе эффекта Фарадея в Кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$. / [Потапов В. Т., Потапов Т. В. и др.] // Фотон Экспресс "Наука", 2005. — №6, с. 166 – 176.

35. Звездин А. К. Магнитооптика тонких плёнок /Звездин А. К., Котов В. А. — М.: Наука, 1988. — 192 с.

36. O. Kamada. Mixed rare-rarthiren garnet (TBY) IG for magnetic field Sensors / O. Kamada, H. Minemoto, S. Ishizuka // Y. Appe. Phys, 1987. — v.61, p. 3268

37. M. N. Deeter. Faraday-effect magnetic field sensors based on Substituted iron garnets / M. N. Deeter, A. H. Rose, G. W. Day // Proc. SPIE, 1990. — v. 1367. — p. 243.

38. A. H. Rose. Submicroampere-per-root-hertz current sensor based on the Faraday effect in Ga:YIG / A. H. Rose, M. N. Deeter, G. W. Day // Opt. Lett., 1993. — v. 18, — p. 1471 – 1473.

39. M. N. Deeter. Faraday-effect magnetic field sensors based on Substituted iron garnets / M. N. Deeter, A. H. Rose, G. W. Day // Proc. SPIE, 1990. — v. 1367, p. 243.

40. K. B. Rochford. Magneto. Optic Sensors Based on iron Garnets / K. B. Rochford, A. H. Rose, G. W. Day // IEEE Trans. on Magnetics, 1996. — v.32 №5. — p. 4113.

41. K. Kyuma. Fiber optic measuring System fo electric Current by using magnetooptic sensor / K. Kyuma, S. Tai, M. Nunoshita, T. Takioka, Y. Ida // IEEE J. Quantum Electron, 1980. — v.18, № 10. — p. 1619 – 1623.

42. Yoshino T. Design and Application on Fiber-Optic Electric and Magnetic Field Sensors / Yoshino T., Ohno Y. Kurosawa K. — Stuttgart, 1984. — p. 55 – 58.

43. Yoshino T. Optical Fiber Electric And Magnetic Fields Sensors // System and Control, 1984. — v.28, p.150 – 159.

44. Григорьев В. А. Волоконно-оптический трансформатор электрического тока промышленной частоты // Оптический журнал, 2000. — т. 67, № 6, с. 117 – 119.

45. В. А. Варнавский. Магнитооптический измеритель постоянных магнитных полей и токов Пат. 2035049 РФ, МПК G01R33/032, заявитель и патентообладатель В. А. Варнавский, С. В. Лебедев, Н. А. Толокнов. – Заявл. 30.04.1993; опубл. 10.05.1995.

46. Айрапетов А. А. Магнитооптическое устройство контроля качества изделия. Пат. 2002247 РФ, МПК G01N27/83; заявитель и патентообладатель Айрапетов А. А., Грибков В. Л., Лысков В. А., Рандошкин В. В., Червоненкис А. Я., — заявл. 29.11.1991; оппубл. 15.04.1994.

47. Левый С. В. Магнитооптическое устройство контроля изделия. Пат. 2165079 РФ, МПК G01N27/84; заявитель и правообладатель Левый С. В., — заявл. 25.10.1999; опубл. 10.04.2001.

48. Губарев А. П. Устройство для контроля изделия на подлинность. Пат. 2299427 РФ, МПК G01N 27/72; заявитель и патентообладатель Губарев А. П., — заявл. 31.08.2004; опубл. 27.02.2006.

49. Варнавский В. А. Устройство проверки подлинности ценных бумаг, имеющих магнитный отпечаток. Пат. 2096766 РФ, МПК G01N21/89; заявитель и патентообладатель Варнавский В. А., Толокнов Н. А., — заявл. 20.05.1996; опубл. 20.11.1997.

50. Лєвий С. В. Магнітооптичний пристрій контролю виробу. Патент на винахід (Україна) №33636 від 15. 11. 2001р., Бюл. №10, 7G 01N 27/84:.. Заявник патенту: Лєвий С.В. По заявці № 99031501, від 18.03.1999. Пріоритет від 15.11.2001. Автор винаходу: Лєвий С.В.

51. Agalidy U. S., Efficiency improvement of correlation stitching by low frequency filtration / Agalidy U. S., Leviyy S. V., Machnev A. M. // International Conf. “Functional Materials” ICFM — Ukraine, Crimea, Partenit, 2005. — p. 157.

52. Агаліді Ю.С. Автоматична оцінка параметрів дисторсії для програмного відновлення форми зображень / Агаліді Ю. С., Лєвий С. В., Мачнев О. М., Тимчик Г. С. // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія: Приладобудування, 2004. — № 27, с. 28 – 35.

53. Агалиди Ю.С., Левый С.В., Мачнев А.М. Программные методы нормализации яркости и контрастности изображений, искажённых ограничениями пучков лучей в оптических системах вода // ISSN 0201 – 744X, ISSN 0321 – 2211, Вісник НТУУ “КПІ” серія Приладобудування, 2005, №30, с.28-36.

54. Hofe T. Dual wavelength magneto-optical imaging of magnetic thin films / [Hofe T., Urs N. and others] // Applied. Physics. Letters, 2013. — 103, 142410.

55. Nur-E-Alam M. Magneto-optical visualisation for high-resolution forensic data recovery using advanced thin film nano-materials / Nur-E-Alam M., Vasiliev M.,

Alameh K., Valli C. // International Cyber Resilience conference. Edith Cowan University, 2010.

56. Murakami H. Development of a prototype laser magneto-optical imaging system / Murakami H., Ueno K., Kawayama I., Tonouchi M. // Superconductor Science and Technology, 2006. — v. 19, № 9. — p. 941 – 944.

57. Zhao X. R. Magneto-optical imaging for high-throughput characterization of combinatorial magnetic thin films / [Zhao X. R., Okazaki N. and others] // Applied Surface Science, 2004. — № 223. — p. 73 – 77.

58. Кожухар П. В. Експериментальна оцінка впливу підмагнічування на якість МОВ // Радіотехніка у ХХІ ст.: Матеріали IV науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених 22 – 23 квітня 2010 року. — К., 2010.

59. Gerald L. Fitzpatrick. Magneto-Optic/Eddy Current Imaging of Aging Aircraft: A New NDI Technique / [Gerald L. Fitzpatrick, David K. Thome and others] // Materials Evaluation, Dec. 1993. — v. 51, № 12. — p. 1402 – 1407.

60. U. Radtke. Application of magneto-optical method for realtime visualization of eddy currents with high spatial resolution for nondestructive testing / [U. Radtke, R. Zielke and others] // Optics and Lasers in Engineering, 2001. — v. 36 . — p. 251 – 268.

61. Червоненкис А. Я. Магнитооптическая визуализация и топографирование магнитных полей / Червоненкис А. Я., Кубраков Н. Ф. // Письма в ЖТФ, 1982. — т. 8, Вып. II. — с. 696 – 699.

62. Шляхтина С.А. Компьютеры на службе криминалистики // Компьютер-Пресс, 2003. — №7. — с. 20 – 25.

63. Yu. S. Agalidi Forensic research methods and means based on automated hardware-software complexes / Yu. S. Agalidi and S. V. Lievyi. // Radioelectronics and Communications Systems, 2010. — v. 53, № 11, p. 599 – 607.

64. Vishnevskii V. G. Visualizer of Magnetic Protection of Securities and Banknotes / Vishnevskii V. G., Berzhansky V. N., Nedviga A. S., Nesteruk A. G. // Sensor Letters, 2009. — v. 7, № 3, p. 1 – 4.

65. E. J. Yarmchuk. Apparatus and method for producing a magnetic image of a conductive pattern using eddy currents, U.S. Patent 5648720; G01N27/82; G01N27/82; G01R33/12, July, 1997.

66. Novotný P. Duplex steels investigated by magneto-optical sensors / Novotný P., Voříšek J. // Defektoskopie 2009, 39th International Conference and Exhibition. — Prague, 2009. — Режим доступа до статті: www.ndt.net/article/defektoskopie2009/papers/Novotny-8.pdf

67. Трухан С. Н. Скачкообразное намагничивание дисперсных ферромагнетиков, обусловленное магнитными межчастичными взаимодействиями / Трухан С. Н., Мартыанов О. Н., Юданов В. Ф. // Физика твердого тела, 2008. — т. 50, вып. 3. — с. 440 – 445.

68. Лауфер М. В. Теоретические основы магнитной записи сигналов на движущийся носитель / Лауфер М. В., Крыжановский И. А. Киев: «Вища школа», 1982. — 270 с.

69. Василевский Ю. А. Носители магнитной записи. М.: «Искусство», 1989. — 288 с.

70. Бургов В. А. Физика магнитной записи. М.: «Искусство», 1973. — 496 с.

71. Щербинин В. Е. Магнитный контроль качества металлов / Щербинин В. Е., Горкунов Э. С. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. 265 с.

72. Вишневский В. Г. Термомагнитная запись информации в эпитаксиальных ферритах-гранатах и ее использование в фоно-скопической экспертизе / [Вишневский В. Г., Недвига А. С. и др.] // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «Физико-математические науки», 2010. — т. 23 (62). № 1. ч. I. — с. 158 – 173.

73. ДСТУ 2865-94. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення. К: Держстандарт України, 1995. — 51 с.

74. ГОСТ 21105-87. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод; Введ. 01.01.1988 взамен ГОСТ 21105-75; Переизд. (апрель 1992 г.) с Изменением № 1, утвержденным в сентябре 1989 г. (ИУС 1-90). М.: Изд-во

стандартов, 1992. — 17 с.

75. Агалиди Ю.С. Методика исследований сигналов и шумов при магнитооптической дефектоскопии / Агалиди Ю. С., Левый С. В., Мачнев А. М. // Учёные записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия: физика, 2006. — т. 19 (58), №1. — с. 23 – 29.

76. Тропченко А Ю. Цифровая обработка сигналов. Методы предварительной обработки. Учебное пособие по дисциплине "Теоретическая информатика" / Тропченко А Ю., Тропченко А.А. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. — 100 с.

77. Коуэн К. Ф. Н. Адаптивные фильтры/ Грант П. М., Коуэн К. Ф. Н. — М.: Мир, 1988. — 392 с.

78. Ландсберг Г. С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. - 6-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 848 с.

79. Авдошин В. В. Определение подлинности и платежеспособности денежных знаков (методическое пособие). — М.: «ИнтерКрим-пресс», 2006. — 104 с.

80. Маресин В.М. Защищённая полиграфия: справочник — 2-е изд., стер. — М. : ФЛИНТА, 2014. — 640 с.: ил.

81. Павлов И.В. Контроль подлинности документов, ценных бумаг и денежных знаков / Павлов И.В., Потапов А.И.— М.: «Техносфера», 2006. — 472 с.

ДОДАТОК

Акт впровадження

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор научно-производственного
предприятия ООО «Регула»

к. т. н.  И. П. Шумский

“ 05 ” 2016 г.



АКТ

О внедрении результатов диссертационной работы

Кожухаря Павла Викторовича

«Количественный контроль магнитных параметров документов
магнитооптической телевизионной системой»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Комиссия в составе:

- председателя — ведущего инженера-конструктора, к. т. н. Р. В. Телятникова и членов комиссии:
 - первого заместителя директора Ю. А. Рогожинского;
 - заместителя директора по международному маркетингу Н. А. Колеснева;
- считает, что диссертационная работа младшего научного сотрудника кафедры Радиотехнических устройств и систем Радиотехнического факультета Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» Кожухаря Павла Викторовича по своему содержанию рассматривает вопросы научно-технического и прикладного характера, близкие тематике научно-производственного предприятия «Регула» и непосредственно относящиеся к совместной разработке модельного ряда экспертно-аналитических комплексов (“Регула 4197” и “Регула 7701М”) для криминалистических исследований оригинальности документов, в т. ч. ценных бумаг и денежных знаков.

Работа посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям в области методов и средств неразрушающего контроля с целью повышения достоверности контроля документов магнитооптическими телевизионными системами (МОТС) путем расширения номенклатуры контролируемых параметров.

Научные и технические результаты, полученные в диссертационной работе Кожухаря П. В., взяты за основу при проектировании МОТС контроля документов "Регула 4197" и "Регула 7701М", а также использованы при разработке их программного обеспечения.

Благодаря реализации методов измерения и обработки, предложенных в диссертационной работе Кожухаря П. В., данные программно-аппаратные комплексы, в отличие от известных на рынке магнитооптических устройств, дают возможность количественного контроля магнитных параметров документов и обеспечивают их комплексный магнитный контроль. Это позволило предложить методику криминалистических исследований объектов магнитной печати с использованием количественного контроля на инструментальной основе указанных МОТС и создать раздел электронной Информационно-справочной системе «Сигнелсу», в котором образцы измерений магнитных параметров банкнот мира получены средствами МОТС.

Вследствие указанных конкурентных преимуществ устройства "Регула 4197" и "Регула 7701М" успешно эксплуатируются экспертами-криминалистами в учреждениях более 40 стран мира, в т. ч. в Национальном банке Королевства Нидерланды и Штаб-квартире Европола в Гааге.

Председатель комиссии, к. т. н.

 Р. В. Телятников

Члены комиссии

 Ю. А. Рогожинский

 Н. А. Колеснев