

ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

УДК 681.7.013.8

ОЦІНКА ЧУТЛИВОСТІ І РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ КОНТРОЛЮ МАГНІТНОГО ЗАХИСТУ ДОКУМЕНТІВ МАГНІТООПТИЧНОЮ ТЕЛЕВІЗІЙНОЮ СИСТЕМОЮ

Кожухар П. В., аспірант

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

EVALUATION OF SENSIBILITY AND RESOLUTION OF THE CONTROL FOR MAGNETIC PROTECTION OF DOCUMENTS BY THE MAGNETO-OPTIC TELEVISION SYSTEM

Kozhukhar P., postgraduate student

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

Вступ

Телевізійні системи контролю на основі магнітооптичних перетворювачів (МОТС) широко використовуються у якості засобів телевізійного вимірювання і контролю просторово неоднорідних магнітних полів. Їх застосування теоретично обґрунтовано і має приклади практичної реалізації в багатьох роботах. Вони дозволяють виконувати контроль оригінальності рельєфного маркування номерів автотранспорту, діагностику зварних швів, заклепаних з'єднань тощо.

В наш час ускладнюється та актуалізується задача контролю магнітного захисту документів, цінних паперів і грошових знаків (магнітні фарби, тонкоплівкові дисперсних феромагнетики на паперовій або іншій основі), що пов'язано з різким зростом можливостей якісної фальсифікації завдяки здешевленню і підвищенню доступності засобів оргтехніки, комп'ютерних та інструментальних технологій.

У процесі розробки МОТС контролю магнітного захисту документів [1] виникла потреба об'єктивної оцінки її технічних характеристик. Вихідний сигнал МОТС являє собою зображення (оптичний образ магнітного поля) у вигляді двомірної матриці дискретизованих значень яскравості світла, модульованого поляризаційною МО схемою. Кут повороту площини поляризації визначається бінарною структурою МО перетворювача, яка в свою чергу зазнає ШІМ під дією напруженості магнітного поля в площині контролю. Новизна системи контролю унеможливорює застосування стандартних методик оцінки технічних характеристик.

Мета даної роботи: запропонувати адекватну методикау і оцінити чутливість та роздільну здатність МОТС контролю магнітного захисту документів.

Методика оцінки чутливості МОТС

Дослідження параметрів магнітного захисту виконується неруйнівним методом контролю. Відповідно до державного стандарту [2], 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 разі вважається штрих з конгломерату фарби або інший елемент захисту з магнітними властивостями.

З метою забезпечення об'єктивності експериментальної оцінки чутливості, пропонується застосування як контрольних тест-об'єктів із заданими характеристиками. Такий підхід є апробованим і традиційним для оцінки чутливості методів і засобів неруйнівного контролю. Тому далі під поняттям чутливість матиметься на увазі гранична чутливість, як найменший розмір штучного відбивача, що виявляється системою.

Стандартом [2] 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 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 [3, 4]. У статті [3] 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 [4] 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 апріорних знань про властивості (наявності/відсутності сигналу) у різних областях тест-об'єкта.

Для експериментального дослідження сигналів і шумів МОВ було спроектовано і виготовлено реалістичний тест-об'єкт (рис. 1), 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 послідовності смуг фарби шириною 1, 2, ... 6 точок, що віддалені одна від одної на відстані ширини смуги. Ширина однієї точки $\lambda=21,1(6)$ мкм (1/1200 дюймів).

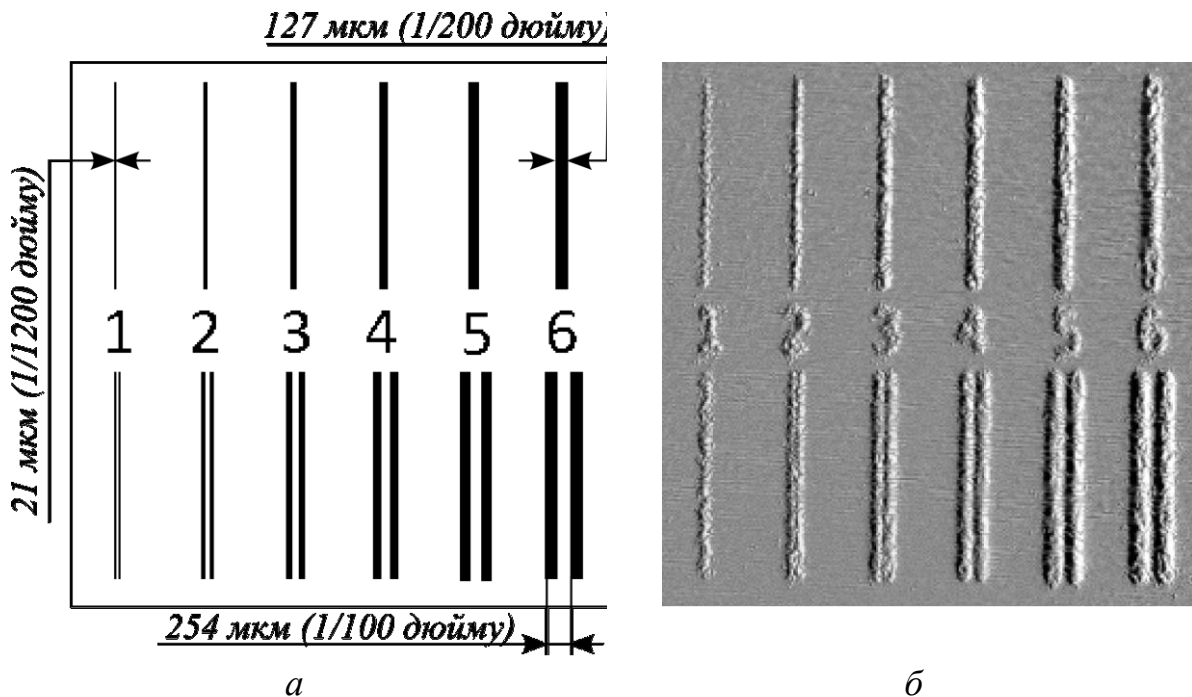


Рис. 1. Тест-об'єкт (а) його МО зображення (б) для визначення чутливості і роздільної здатності контролю магнітного захисту документів.

Вихідними даними для кількісної оцінки амплітуд сигналів і шумів виступають двомірні матриці яскравості $A(i, j)$ точок зображень МОВ, дискретизованих ДТС (рис. 1, б). 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 смугової доменної

структури дискретного бінарного МО перетворювача (“лабіринту”), дифракція світла на “лабіринті” перетворювача і власне сам “лабіринт”.

Введення матриці яскравості точок зображення виконується декілька разів з подальшим усередненням (1) для того, щоб зменшити вплив шумів МО перетворювача і ДТС та на результати візуалізації. Цей метод накопичення [5] 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.

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

Навіть за відсутності об’єкта контролю (сигналів) у фоновому зображенні МОБ, окрім динамічних завод, присутні також відносно сталі спотворення системи візуалізації. Серед них можна виділити: паразитну модуляцію інтенсивності освітлення (бліки, непрозорі дефекти оптичної системи), дефекти поляризації, геометричні аберації, нелінійність чутливості фотоприймача, нелінійність МО перетворення, контактні спотворення, суперпозиція магнітного поля сигналу з паразитним полем в площині МО перетворювача.

Враховуючи відносну постійність цих спотворень, їх можна зменшити за допомогою адаптивної фільтрації [5]. Так зображення візуалізації проходить програмну корекцію дисторсії. Знизити вплив адитивних спотворень допомагає операція видалення фону, що полягає в обчисленні відхилення яскравості точок зображення МОБ в присутності об’єкта контролю $\bar{A}(i, j)$ від яскравості точок зображення МОБ за його відсутності $\bar{A}_\phi(i, j)$ відносно середини діапазону, який визначається у відносних величинах яскравості від 0 у. о. для чорного кольору до 255 у. о. для білого кольорів.

$$\Delta\bar{A}(i, j) = \bar{A}(i, j) - \bar{A}_\phi(i, j) + 128 \quad (2)$$

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

На відміну від [4], 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 $P_{ш}$. Таким чином, для оцінки потужності сигналу і шуму МОБ маємо співвідношення (3-4).

$$P_{\text{ш}} = \frac{1}{I_{\text{ш}} J_{\text{ш}}} \sum_{i \in \text{ш}} \sum_{j \in \text{ш}} [\bar{A}(i, j) - \bar{A}_{\phi}(i, j)]^2, \text{ де} \quad (3)$$

$P_{\text{ш}}$ — потужність шуму МОВ,

i, j — порядковий номер точки матриці яскравості зображення МОВ по горизонталі і вертикалі відповідно,

$I_{\text{ш}}, J_{\text{ш}}$ — кількість точок сегментів зображення по горизонталі і вертикалі відповідно, в яких відсутній сигнал,

ш — множина сегментів області МОВ, де апіорі відсутній сигнал (рис. 2),

$\bar{A}(i, j)$ — матриця яскравості точок зображення МОВ в присутності тест-об'єкта,

$\bar{A}_{\phi}(i, j)$ — матриця яскравості точок фонового зображення МОВ.

$$P_{\text{с}} = \frac{1}{I_{\text{с}} J_{\text{с}}} \sum_{i \in \text{с}} \sum_{j \in \text{с}} [\bar{A}(i, j) - \bar{A}_{\phi}(i, j)]^2 - P_{\text{ш}}, \text{ де} \quad (4)$$

$P_{\text{с}}$ — потужність сигналу МОВ,

$I_{\text{с}}, J_{\text{с}}$ — кількість точок сегментів зображення по горизонталі і вертикалі відповідно, в яких присутній сигнал,

с — множина сегментів області МОВ, де апіорі присутній сигнал (рис. 2).

На рис. 2 подано зображення МОВ тест об'єкта як $\Delta \bar{A}(i, j)$. Домени МО перетворювача перемагнічуються в двох напрямках, одному з яких в зображенні МОВ відповідає чорний колір, а іншому білий.

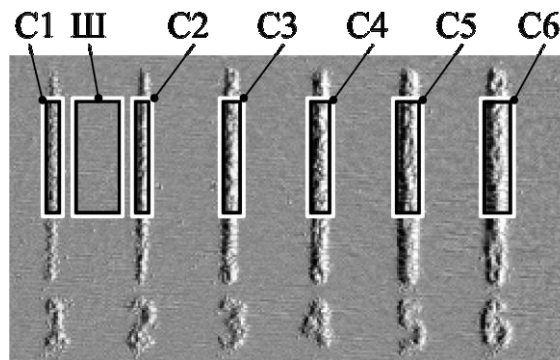


Рис. 2. Сегментація тест-об'єкта для визначення сигналів і шумів.

Проміжні величини яскравості утворюються через сумірність просторових структур матриці ДТС та МО перетворювача. Так на одну точку зображення ДТС відображається точка МО перетворювача (предметної площини) розміром 14 мкм, просторовий період смужкової доменної структури якого складає 45 мкм. Також дебінаризації зображення сприяють спотворення і шуми оптичної системи.

Для кожного з шести зразків сигналів і шумів визначено сегменти С1-С6 і Ш та обчислено їх потужність за (3-4). Введення МОВ і обчислення значень потужності виконано десять разів з подальшим усередненням, при цьому значення потужностей отримано з похибкою не більше $\pm 15\%$ при довірчій імовірності 0,95. Результати обчислення подано на рис. 3.

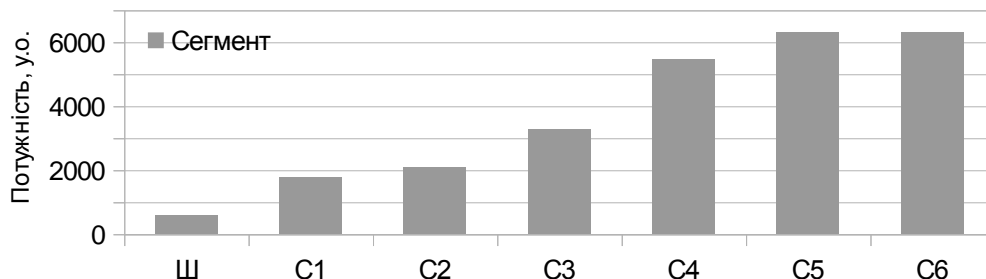


Рис. 3. Діаграма потужностей сигналів шумів обраних сегментів МОВ.

Як видно з рис. 3, характер розподілу потужностей цілком прогнозований: зі збільшенням розміру дефекту (ширини штриха), збільшується потужність сигналу. Її незначне зменшення для найширшого штриха (С6) пояснюється зменшенням напруженості магнітного поля в середній частині сегменту (рис. 4), коли роздільна здатність системи дозволяє розрізняти окремі крайки штриха (похибка сегментування). Чутливість МО ТВС дозволяє впевнено детектувати найменший штрих (С1) магнітотвердої фарби товщиною 21,1(6) мкм при цьому відношення сигнал/шум складає 5 дБ, що перевищує загально прийнятий поріг 3 дБ.

Методика оцінки роздільної здатності МОТС

За допомогою тест-об'єкта (рис. 1) також досліджено роздільну здатність ТС. Згідно ДСТУ [2], 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 ТС неруйнівного контролю за своєю структурою подібна мікроскопу — когерентне світло модульоване поляризаційною схемою МО перетворення відображується у площині ДТС. Щоб визначити роздільну здатність даної ТС скористаємось принципами вимірювання роздільної здатності мікроскопів [6], яка визначається мінімальною відстанню між двома точками предметної площини, що розрізняються. Для цього виготовлено тест-об'єкт з групами штрихів різної товщини. Кожна група, являє собою правильну решітку із двох штрихів магнітотвердої фарби, які віддалені один від одного на ширину штриха (рис. 1).

Розглянемо теоретичний просторовий розподіл нормальної складової напруженості магнітного поля вздовж прямої, перпендикулярній штрихам, в площині МО перетворювача для двох близько розташованих штрихів

фарби (рис. 4), побудований за [1]. Кожному штриху відповідають два екстремуми різної полярності, при чому максимум розподілу H_1^n одного штриха компенсується мінімумом розподілу H_2^n іншого, що ускладнює розрізнення окремих штрихів у сумарному розподілі H_Σ^n на фоні шумів. Тому критерієм розрізнення двох штрихів може служити достатнє відношення амплітуд сусідніх екстремумів пари штрихів до амплітуди шумів (розподіл в області де штрихи відсутні).

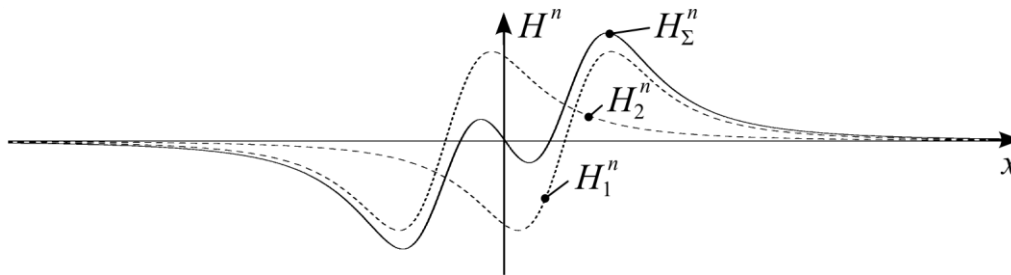


Рис. 4. Теоретичний просторовий розподіл H_Σ^n двох близько розташованих штрихів фарби

Розподіл амплітуд H_Σ^n вимірюється опосередковано через амплітуди яскравостей точок зображення візуалізації $\bar{A}(i, j)$. Для зменшення впливу шумів лабіринтної доменної структури МО перетворювача (фільтрації просторової ШІМ яскравості світла) оцінка виконується за усередненими значеннями різниці яскравості для усіх рядків j , що перетинають пару досліджуваних штрихів (5).

$$A_{\text{розп.}}(i) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J [\bar{A}(i, j) - \bar{A}_\Phi(i, j)] \quad (5)$$

Розглянемо експериментальні характеристики $A_{\text{розп.}}(i)$ для двох пар штрихів (рис. 5). У лівій частині розміщено усереднене зображення МОВ, розподіл яскравості якого по горизонталі відповідає значенням (5), при чому нульовим значенням $A_{\text{розп.}}(i)$ відповідає сірий колір, від'ємним — темні напівтони, додатнім — світлі. Зміна яскравості зображення по вертикалі відсутня (висота зображення збільшена від однієї точки для покращення візуальної інтерпретації). У правій частині — графік розподілу яскравості $A_{\text{розп.}}(i)$, який відповідає зміні напруженості нормальної складової магнітного поля впоперек штрихів.

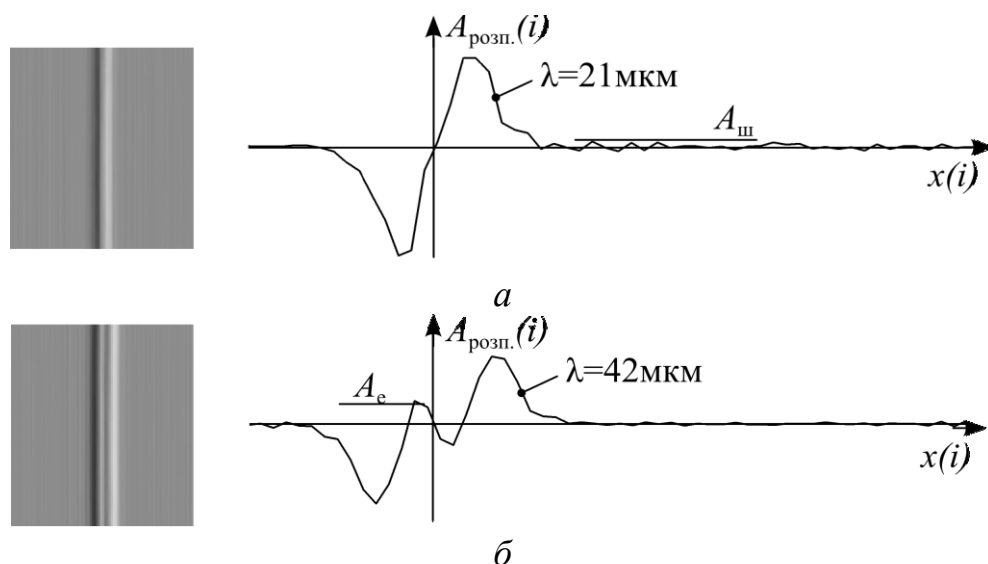


Рис. 5. Зображення МОВ і просторовий розподіл його яскравості пар штрихів магнітної фарби шириною 21 мкм (а) і 42 мкм (б).

Розрізнення найтонших штрихів на відстані $\lambda < 21$ мкм технічно неможливо, оскільки екстремуми внутрішніх краєк штрихів взаємовіднімаються. В цьому випадку МО ТС реєструє лише початок і кінець послідовності штрихів. При збільшенні λ до 42 мкм стає можливим візуальне розрізнення окремих краєк штрихів, при чому відношення $20 \lg((A_e - A_{ш})/A_{ш}) = 11$ дБ, що значно більше загально прийнятого порогу 3 дБ.

Висновки

1. За результатами аналізу нормативних та науково-технічних джерел, визначено поняття чутливості і роздільної здатності магнітооптичної телевізійної системи для задач контролю магнітного захисту документів. Зокрема, чутливість магнітооптичної телевізійної системи визначається розміром мінімального об'єкта контролю типу "друкований штрих", зображення візуалізації якого має достатній рівень відношення сигнал/шум. Роздільна здатність магнітооптичної телевізійної системи визначається мінімальним розміром двох близько розташованих об'єктів контролю, при якому девіація яскравості зображення магнітооптичної візуалізації на їх сусідніх границях має достатній рівень співвідношення сигнал/шум.

2. Розроблено методику оцінки чутливості та роздільної здатності магнітооптичної телевізійної системи контролю магнітного захисту документів, що ґрунтується на кількісній експериментальній оцінці сигналів і шумів магнітооптичного зображення об'єкту.

3. За результатами експериментального дослідження магнітооптичної телевізійної системи для контролю елементів магнітного захисту документів визначено як поріг чутливості штрих магнітотвердої фарби шириною від 21 мкм, її роздільна здатність дозволяє розрізняти штрихи товщиною більше 42 мкм.

Література

1. Агалиди Ю. С., Кожухарь П. В., Левый С. В., Мачнев А. М., Пономарев С. Л. Исследование индуцированных магнитных полей рассеяния тонкопленочных дисперсных ферромагнетиков. Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. — 2012. — Том 55, № 5. — с. 17-28.
2. ДСТУ 2865-94. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення. — К: Держстандарт України. — 1995. — 51 с.
3. Агалиди Ю.С., Левый С.В., Мачнев А.М. Методика исследований сигналов и шумов при магнитооптической дефектоскопии. Учёные записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия: физика. — 2006. — Том 19 (58), №1. — с. 23-29.
4. Кожухарь П. В. Експериментальна оцінка впливу підмагнічування на якість МОВ. Радіотехніка у ХХІ ст.: Матеріали ІV науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених 22- 23 квітня 2010 року. — К. — 2010.
5. Тропченко А Ю., Тропченко А.А. Цифровая обработка сигналов. Методы предварительной обработки. Учебное пособие по дисциплине "Теоретическая информатика". — СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. — 100 с.
6. Ландсберг Г. С. Оптика. Учеб. пособие: Для ВУЗов. — 6-е изд., стереот. — М.: Физматлит, 2003. — 848 с.

References

1. Agalidi Yu. S., Kozhukhar P. V., Levyi S. V., Machnev A. M., Ponomarev S. L. Issledovanie induzirovannyh magnitnyh polei rasseianii tonkoplenochnykh dispersnykh ferromagnetikov. Izvestiia vysshyyh uchebnykh zavedenii. Radioelektronika — 2012. — Tom 55, № 5. — s. 17-28.
2. DSTU 2865-94. Kontrol neruinivnii. Terminy ta vyznachennia. — K: Derzhstandart Ukrainy — 1995. — 51 s.
3. Agalidi Yu. S., Levyi S. V., Machnev A. M. Metodika issledovaniia signalov i шумов pri magnitoopticheskoi defectoscopii. Uchenye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Serii: fizika. — 2006. — Tom 19 (58), №1. — s. 23-29.
4. Kozhukhar P. V. Eksperymentalna otsinka vplyvu pidmagnichuvannia na yakist MOV. Radiotekhnika u XXI st.: Materialy IV naukovo-tehnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodyh vchenykh 22-23 kvitnia 2010 roku. — K. — 2010.
5. Tropchenko A. Yu., Tropchenko A. A. Tsifrovaia obrabotka signalov. Metody predvaritelnoi obrabotki. Uchebnoe posobie po distsypline "Teoreticheskaia informatika". — SPb: SPbGU ITMO, 2009. — 100 s.
6. Landsberg G. S. Optika. Ucheb. Posobie: Dlia VUZov. — 6-e izd., stereot. — M.: Fizmatlit, 2003. — 848 s.

Кожухарь П. В. Оцінка чутливості і роздільної здатності контролю магнітного захисту документів магнітооптичною телевізійною системою. В роботі формалізовано поняття чутливості і роздільної здатності магнітооптичної телевізійної системи. Розроблено методику оцінки чутливості та роздільної здатності магнітооптичної телевізійної системи контролю магнітного захисту документів, що ґрунтується на кількісній оцінці сигналів і шумів зображення магнітооптичної візуалізації просторового розподілу магнітних полів в площині об'єкта контролю. За результатами експериментального дослідження чутливість магнітооптичної телевізійної системи для контролю елементів магнітного захисту документів дозволяє впевнено візуалізувати штрих магнітотвердої фарби шириною більше 21 мкм, її роздільна здатність дозволяє розрізняти штрихи товщиною більше 42 мкм.

Ключові слова: чутливість, роздільна здатність, співвідношення сигнал/шум, магнітооптичний перетворювач, телевізійна система контролю.

Кожухарь П. В. **Оценка чувствительности и разрешающей способности контроля магнитной защиты документов магнитооптической телевизионной системой.** В работе формализовано понятия чувствительности и разрешающей способности магнитооптической телевизионной системы. Разработана методика оценки чувствительности и разрешающей способности магнитооптической телевизионной системы магнитной защиты документов, основанная на количественной оценке сигналов и шумов изображения магнитооптической визуализации пространственного распределения магнитных полей в плоскости объекта контроля. По результатам экспериментального исследования чувствительность магнитооптической телевизионной системы позволяет уверенно визуализировать штрих магнитотвердой краски шириной более 21 мкм, ее разрешающая способность позволяет различать штрихи толщиной более 42 мкм.

Ключевые слова: чувствительность, разрешающая способность, отношение сигнал/шум, магнитооптический преобразователь, телевизионная система контроля.

Kozhukhar P. V. **Evaluation of sensibility and resolution of the control for magnetic protection of documents by the magneto-optic television system.**

Introduction. The objective evaluation of magneto-optical television system technical characteristics was needed in the development. Novelty of the system prevents the use of standard techniques for this. The task of this work is to offer adequate methodology and to evaluate the sensitivity and resolution of magneto-optical television system.

Method of sensibility evaluation. The concept of magneto-optical television system sensitivity was made by the analysis of regulatory and scientific-technical sources. It is determined by the minimum size of the control object type "print bar" image visualization which has sufficient SNR. The method and the estimation of the magneto-optical television system sensitivity for magnetic protection of documents control were done. It is based on the quantitative evaluation of the image signal and noise in magneto-optical visualization of the spatial magnetic fields distribution in control object plane.

Method of resolution evaluation. The notion of magneto-optical television system resolution was formalized. The method and the estimation of its resolution were done.

Conclusions. According to the results of the pilot research the sensitivity of magneto-optical television system allows confidently to visualize bar of magnetic paint a width exceeding 21 mm, its resolution allows to distinguish the strokes of a thickness exceeding 42 mm.

Keywords: sensibility, resolution, SNR, magneto-optical transducer, television system.