

Олександр Кошель

кандидат технічних наук,
судовий експерт,

Науково-дослідний центр незалежних судових експертиз

Міністерства юстиції України

<https://orcid.org/0000-0002-0421-7800>



Павло Кожухар

кандидат технічних наук,
науковий співробітник,

ТОВ «Лабораторія аналітичного дизайну “Регула ЮА”»,

м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-8823-3527>



ОПТИМІЗАЦІЯ НАМАГНІЧУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРТНО-КРИМІНАЛІСТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РЕЛЬЄФНОГО МАРКУВАННЯ МЕТОДОМ МАГНІТООПТИЧНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

Розглянуто практичні аспекти та інструментальну базу для забезпечення ефективності експертно-криміналістичних досліджень рельєфного маркування феромагнітних об'єктів (видаленого, ушкодженого чи скритого покриттями) методом магнітооптичної візуалізації.

Метод магнітооптичного дослідження рельєфного маркування складається з кількох послідовних етапів: намагнічування об'єкта контролю до певного рівня, копіювання на магнітну стрічку просторового магнітного образу об'єкта, пов'язаного з рельєфом і структурою його поверхні, і подальшої магнітооптичної візуалізації цієї копії.

Для ряду складних випадків використовується додаткове намагнічування навісними магнітами, що встановлюються на об'єкт, з'єднуючись у ланцюг. Оптимізація рівня намагнічування здійснюється експериментальним ітераційним шляхом і потребує перебору варіантів щодо кількості магнітів і способів їх з'єднання, що оцінюється за даними подальшого магнітного копіювання та магнітооптичної візуалізації. Ці трудомісткі операції потребують багато часу й не гарантують досягнення максимальної ефективності досліджень.

Технічна проблема полягає в тому, щоб забезпечити оптимальне намагнічування, оскільки недостатнє намагнічування призводить до невиправданої втрати рівня сигналу, а надлишкове намагнічування - до перенасичення його динамічного діапазону. Таким чином, ручний ітераційний підбір параметрів намагнічування є трудомісткою процедурою, що не гарантує досягнення максимальної ефективності досліджень.

Для забезпечення оптимального намагнічування об'єкту розроблено і впроваджено індикатор намагнічування, що адаптований до умов магнітного копіювання. На тестових і практичних прикладах досліджень видаленого маркування зброї показано, як регулювання намагнічування впливає

на ефективність встановлення даних первинного маркування на різних за товщиною стінок ділянках номерної площадки.

Використання індикатора значно спрощує і прискорює процес налаштування намагніченості за рахунок виключення надлишкових операцій магнітного копіювання і магнітооптичної візуалізації на кожній ітерації налаштування, а також забезпечує оптимальність намагнічування, яка визначає інформативність магнітного копіювання і, таким чином, підвищує ефективність дослідження загалом.

Ключові слова: магнітооптична візуалізація, неруйнівні дослідження, відновлення видаленого маркування, оптимізація намагнічування.

Постановка проблеми. Метод магнітооптичного (МО) дослідження рельєфного маркування складається з кількох послідовних етапів: намагнічування об'єкта контролю до певного рівня, магнітографування (магнітного копіювання) на магнітну стрічку інформації просторового магнітного образу з поверхні об'єкта і його МО візуалізації. На першому етапі можуть виникати труднощі з визначенням необхідного рівня намагнічування, особливо для об'єктів складної форми.

Величина поля намагнічування визначається кількістю пар магнітів, які з'єднуються в ланцюг, що замикається через контрольовану область об'єкта. Наразі вибір потужності намагнічування здійснюється експериментально й потребує ітераційного перебору варіантів щодо кількості магнітів, способів їх з'єднання та розташування контактних поверхонь. При цьому на кожній ітерації підбору потрібно виконати всі етапи методу, включно з магнітографуванням і МО візуалізацією, за якою оцінюється кінцевий результат. Технічна проблема полягає в тому, щоб забезпечити саме оптимальне намагнічування (тобто до рівня технічного насичення матеріалу), оскільки недостатнє намагнічування призводить до невиправданої втрати рівня сигналу, а надлишкове намагнічування - до перенасичення його динамічного діапазону. Таким чином, ручний ітераційний підбір параметрів намагнічування є трудомісткою процедурою, що не гарантує досягнення максимальної ефективності досліджень.

Мета статті - встановити вплив різних рівнів намагнічування під час дослідження рельєфного маркування МО методом та оцінити можливості оптимізації процесу намагнічування шляхом попередньої оцінки рівня намагнічування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Магнітооптичний (МО) метод і засоби застосовуються в експертній практиці України для

дослідження рельєфного маркування (VIN) автомобілів іще з початку нинішнього сторіччя [1; 2]. Теоретичні основи МО методу розроблені і освітлені в роботах [3; 4; 5; 6], а головні технічні рішення захищені патентами [7; 8]. На цьому початковому етапі свого впровадження МО метод був орієнтований на дослідження рельєфу поверхонь феромагнітних виробів, скритого лакофарбовими покриттями або вкритого шаром корозії [9].

Наступним кроком розвитку МО техніки стала розробка і впровадження технології індуктивного збудження вихрових струмів в поверхневому шарі об'єктів [10; 11], яка також захищена національним патентом на винахід [12] та рядом міжнародних патентів [13; 14; 15]. Зазначенні вдосконалення помітно підвищили чутливість МО методу до внутрішніх напружень, а також дали можливість досліджувати немагнітні електропровідні об'єкти (наприклад, з алюмінієвих сплавів). Такий якісний стрибок технічних можливостей забезпечив розширення сфери застосування МО засобів для досліджень більш складних об'єктів, як-от маркування зброї.

Міжнародна експертна спільнота також доклалася до апробації та впровадження МО засобів досліджень маркування зброї та VIN автомобілів. Тут звертають на себе увагу публікації практичного характеру від користувачів МО засобів, які освітлюють цілком успішні результати експертно-криміналістичних досліджень із відновлення маркування, отримані в Німеччині [16] та США [17; 18], а також частково успішні результати досліджень з Англії [19], де було повністю відновлене знищене штаповане маркування, але не відновлене знищене лазерне гравіювання. Беззаперечним є той факт, що лазерне гравіювання не залишає таких потужних внутрішніх напружень металу, як механічне штампування. Отже, і відновити цей слабкий сигнал досить важко, про що свідчать ті ж результати [19], де знищене лазерне

гравіювання не було відтворене також і руйнівним методом хімічного травлення за допомогою реагентів Фрая. Тим більш актуальним у таких складних випадках є оптимізація параметрів МО досліджень, зокрема забезпечення оптимальних умов намагнічування об'єкта в процесі магнітографування, що гарантують ефективність контролю.

Наявна практика виконання МО контролю на металевих поверхнях складної форми і змінної площі перетну металу [20] вказує на деякі об'єктивні складнощі, що виникають у процесі підбору оптимального рівня намагнічування об'єкта. Робота [21] розглядає клас товстостінних об'єктів із низьким рівнем залишкових напружень від знищеного маркування, що зумовлено видаленням товстого поверхневого шару металу. Водночас за межами цієї статті залишився ряд важливих питань щодо технічних засобів забезпечення максимальної ефективності застосування МО контролю в умовах слабого сигналу.

Технічна проблема полягає в тому, що поверхню носія даних потрібно намагнітити таким чином, щоб довести феромагнетик до рівня насичення полем, але не перевищувати суттєво цього рівня. Тобто недостатнє намагнічування призводить до небажаного зменшення рівня сигналу, надлишкове намагнічування - до перенасичення динамічного діапазону сигналу. Наразі підбір намагнічування виконується ітераційно й потребує значних витрат часу. Можливий шлях вирішення цієї технічної проблеми полягає у додатковому інструментальному забезпеченні, що дасть змогу за допомогою вимірювання чи індикації забезпечити оптимальний рівень намагнічування, на відміну від його емпіричного ітераційного підбору.

Виклад основного матеріалу

Обладнання. Дослідження проводиться з використанням МО апаратно-програмного комплексу обладнання для криміналістичних досліджень маркувальних позначень зброї та боєприпасів «Регула» 7517 (рис. 1). Об'єкт контролю зазвичай встановлюється на намагнічуючий стіл пристрою намагнічування (1), який також має набір додаткових намагнічуючих скоб і планок. У рамках задач дослідження розроблено спеціальний індикатор намагнічування (2), яким контролюється магнітне поле на поверхні досліджуваної області об'єкта контролю під час налаштування схеми

намагнічування. Індикатор за допомогою датчика Холла вимірює магнітне поле й показує оптимальність рівня намагнічування, його недостатність чи надлишок. Ефективність роботи цього індикатора оцінюється в цьому дослідженні. Після налаштування схеми намагнічування за допомогою індикатора виконується копіювання просторового розподілу магнітного поля з поверхні об'єкта контролю пристроєм вихореструмного магнітографування (3) на магнітну стрічку (1", BASF SM-900), яка сканується приладом для магнітооптичної візуалізації магнітограм (4) і формує оптичний образ магнітного поля з використанням МО ефекту Фарадея.

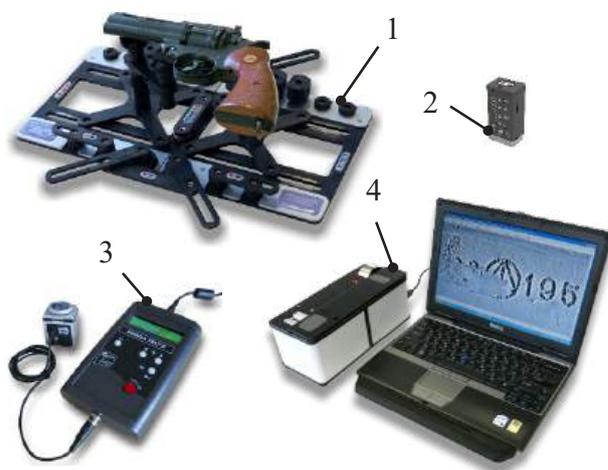
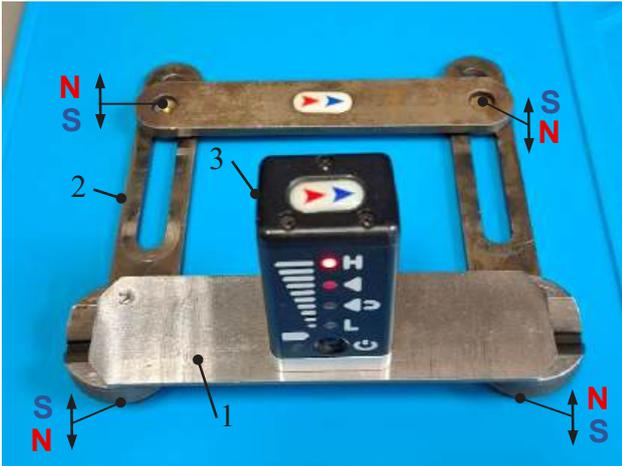


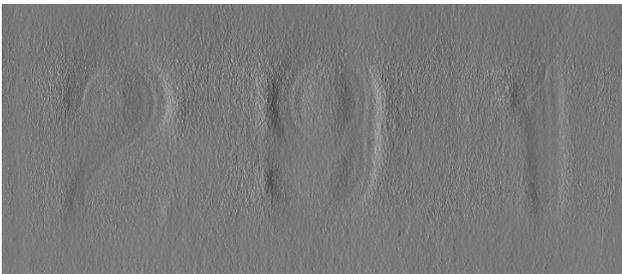
Рис. 1. Комплект обладнання «Регула» 7517

Якісне виконання магнітної копії потребує оптимального намагнічування об'єкта контролю для узгодження параметрів сигналу з динамічним діапазоном магнітної стрічки, на яку виконується магнітографування. З метою оцінки коректної роботи індикатора намагнічування виконано два дослідження тест-об'єкта: металевої пластини з конструкційної сталі Ст45 товщиною 2 мм, на якій спочатку було нанесено маркування холодним штампуванням, після чого рельєф знаків було повністю видалено шліфуванням (імітатор знищеного маркування).

Оскільки тест-об'єкт має невеликі розміри, для його намагнічування достатньо однієї намагнічуючої скоби пристрою намагнічування (рис. 2-3, а). Намагнічуюча скоба складається з джерел магнітного поля (магнітних шарнірів), з'єднаних послідовно магнітопроводами. Об'єкт контролю замикає цей ланцюг, отримуючи відповідне намагнічування.



а) схема намагнічування

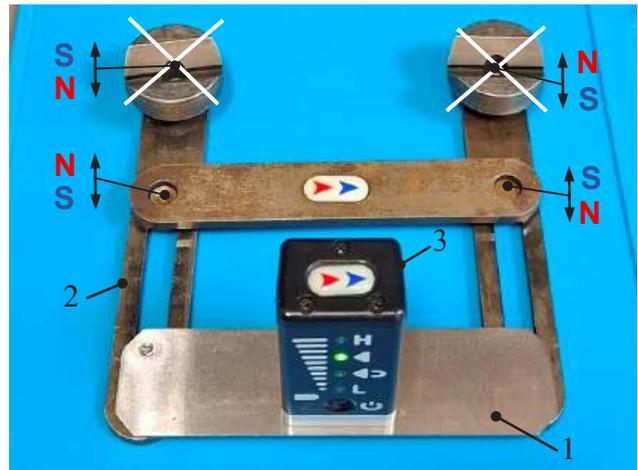


б) магнітооптична візуалізація

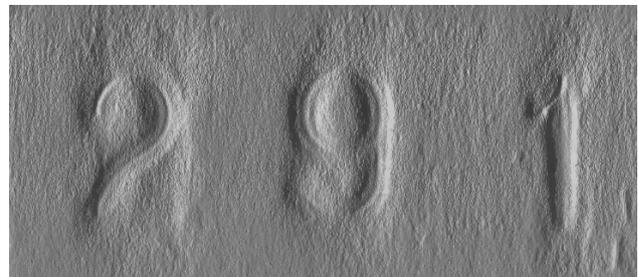
Рис. 2. Дослідження тест-об'єкта за неоптимального (надлишкового) намагнічування

На рис. 2 (а) показано схему намагнічування тест-об'єкта (1) намагнічуючою скобою (2), у якій залучено 4 магнітні шарніри скоби (N-S), з'єднані послідовно. Індикатор намагнічування (3), розміщений на поверхні об'єкта контролю, показує надлишок поля намагнічування. В експериментальних цілях у такому стані виконано магнітну копію на поверхні тест-об'єкта. На МО візуалізації (рис. 2, б) видно структурні неоднорідності у приповерхневих шарах тест-об'єкта - це контури видалених знаків «291». Однак це маркування доволі складно розрізняється: знаки розмиті й не контрастні. Це свідчить про перенасичення тест-об'єкта магнітним полем, що і показував індикатор намагніченості.

На рис. 3 (а) показано альтернативну схему намагнічування тест-об'єкта (1), у якій задіяно всього два магнітні шарніри (N-S) намагнічуючої планки (2): магнітне коло замикається лише по нижніх магнітних шарнірах, а верхні (перекреслені) не впливають на об'єкт контролю. Таким чином зменшується його намагнічування.



а) схема намагнічування



б) магнітооптична візуалізація

Рис. 3. Дослідження тест-об'єкта за оптимального намагнічування

На відміну від попереднього прикладу, індикатор намагніченості (3) показує, що вона оптимальна. Візуалізація (рис. 3, б) магнітної копії тест-об'єкта, виконаної за такого намагнічування показує хороший контраст і високу деталізацію видалених знаків.

Порівняння результатів дослідження тест-об'єкта свідчить про коректність оцінки намагніченості індикатором і показує важливість підбору оптимального намагнічування, оскільки за неоптимального намагнічування зменшується рівень сигнал / шум зображень.

Налаштувати схему намагнічування для розглянутого тест-об'єкта відносно не складно, що обумовлено його простою геометрією. Можна легко виконати підбір і без індикатора намагнічування: перебором невеликої кількості варіантів намагнічування з подальшим виконанням магнітних копій і візуалізації з вибором найкращого варіанта. Водночас реальні об'єкти, як-от деталі зброї, зазвичай потребують намагнічування на столі з додатковими навісними магнітами (скобами) в різноманітних конфігураціях. Вибір оптимальної схеми намагнічування може бути неочевид-

ним через масивність, складну форму й різну товщину окремих ділянок об'єкта, через які відбувається намагнічування досліджуваної ділянки.

Розглянемо приклад дослідження реального об'єкта - пістолет VIS.35 (рис. 4, а). На рис. 4 (б) показано ділянку поверхні затвору зі зниклим маркуванням. Візуально маркування не розпізнається, сліди механічної обробки неочевидні, покриття поверхні з маркуванням візуально не відрізняється від інших поверхонь пістолета, присутні сліди корозії в правій частині.



а) загальний вигляд

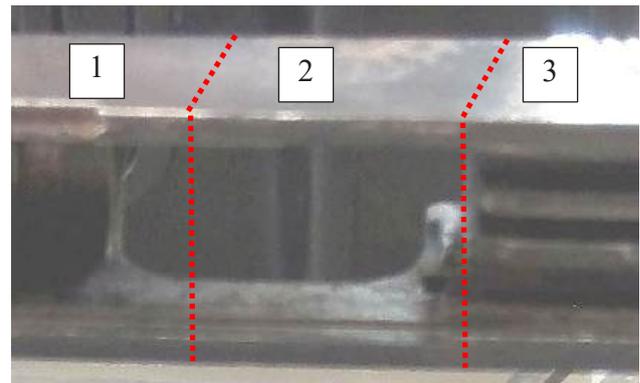


б) ділянка затвору зі зниклим маркуванням
Рис. 4. Пістолет VIS.35

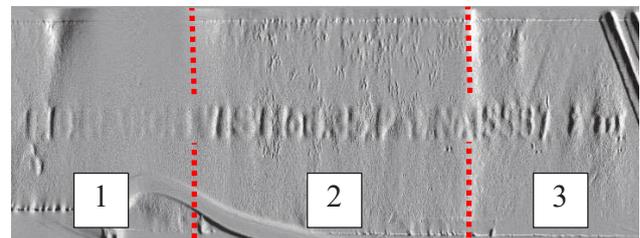
Складність дослідження такої поверхні полягає в різній товщині стінок металу в зоні дослідження. На рис. 5 (а) виділені окремі ділянки досліджуваної зони, які мають різну товщину (площу поперечного перетину об'єкта): 1 - найменшу, 3 - найбільшу. Очевидно, що чим більша товщина металу, тим більше необхідне поле намагнічування і навпаки. Тобто і разі намагнічування однаковим магнітним полем усієї зони з маркуван-

ням воно може бути оптимальним для однієї з ділянок і неоптимальним для інших.

На рис. 5 (б) показано результат МО візуалізації для випадку, коли намагнічування за показаннями індикатора було оптимізовано за товстостінної ділянки 3. Видно, що контури знаків добре розпізнаються в товстостінній ділянці і майже не розпізнаються в тонкостінній 1. З візуалізації можна впевнено розрізнити тільки кінець маркування: ... VIS Mod.35. Pat. Nr.15567.



а) ділянки зони контролю



б) візуалізація за оптимізованого намагнічування за ділянкою 3



в) візуалізація за оптимізованого намагнічування за ділянкою 2

Рис. 5. Відновлення рельєфного маркування пістолета VIS.35

Намагнічування було оптимізовано (зменшено) для ділянки 2, що визначено за допомогою індикатора. Візуалізація для цього випадку подана на рис. 5 (в). У підсумку ділянки із середньою і малою товщиною отримали більший контраст і додаткову

деталізацію. Водночас у ділянці 3 з великою товщиною знаки втратили інформативність через нестачу намагнічування. Загалом із цієї візуалізації розрізняється лише початок маркування: F.B.RADOM VIS Mod.35. Pat. Nr....

Утім, за двома візуалізаціями вдається відновити повний зміст маркування: F.B.RADOM VIS Mod.35. Pat. Nr.15567, тому додаткове дослідження з оптимізацією намагнічування в ділянці 1 не потрібно.

Висновки. Завдяки оптимальному намагнічуванню можна отримати максимально контрастну й інформативну МО-візуалізацію рельєфного маркування ферромагнітних об'єктів. Надлишкове або недостатнє намагнічування погіршує ефективність візуалізації маркування, а за великих відхилень від optimumу може призвести до повної або часткової втрати інформаційних даних.

Розроблений та випробуваний індикатор дає змогу швидко і якісно виконувати оптимізацію намагнічування досліджуваних об'єктів. Якість візуалізації маркувань, отриманих за різних намагнічувань, корелюється з індикацією пристрою.

Маркування, виконане на поверхні об'єкта складної форми, може вимагати налаштування різного намагнічування для його окремих ділянок, що потребує багаторазового переналаштування намагнічування й актуалізує потреби інтенсифікації процесу дослідження.

Використання індикатора значно спрощує і прискорює процес налаштування намагніченості через виключення надлишкових операцій магнітографування і МО-візуалізації на кожній ітерації налаштування, а також забезпечує оптимальність намагнічування, яка визначає інформативність магнітографування і, таким чином, підвищує ефективність дослідження загалом.

Список використаної літератури:

1. Агаліді Ю. С., Красюк І. П., Левий С. В., Прохоров-Лукин Г. В. Методика апаратних криміналістичних досліджень ідентифікаційних номерів транспортних засобів. Затверджено і рекомендовано до впровадження ДНДІ ЕКЦ МВС України (протокол № 2 від 21.07.2000).
2. Агаліді Ю. С., Левий С. В., Прохоров-Лукин Г. В. Реалізація комплексної методики криміналістичних досліджень ідентифікаційних номерів автотранспортних засобів на програмно-апаратному рівні. *Міжвідомчий науково-методичний збірник «Криміналістика і судова експертиза» Міністерства юстиції України*. Київ, 2003. Вип. 51.
3. Агаліді Ю. С. Магнітооптична візуалізація магнітограм рельєфних зображень і структурних неоднорідностей поверхневого шару ферромагнітних виробів : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 «Прилади і методи контролю та визначення складу речовин». Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Київ, 2006.
4. Агаліді Ю. С. Принцип і теоретична модель локального полюсного збудження при магнітографуванні. *Вісник НТУУ «КПІ»*. Серія: *приладобудування*. 2007. № 33. С. 55-62.
5. Агаліді Ю. С. Дослідження теоретичної моделі локального полюсного збудження при магнітографуванні. *Вісник НТУУ «КПІ»*. Серія: *приладобудування*. 2007. № 34. С. 76-82.
6. Агаліді Ю. С. Принципи магнітного запису і типи генераторів локального полюсного збудження для пристроїв магнітографічного контролю. *Вісник НТУУ «КПІ»*. Серія: *приладобудування*. 2008. № 35. С. 54-61.
7. Патент на винахід (Україна) № 36636 від 15.11.2001. Бюл. № 10, 7G 01N 27/84: Магнітооптичний пристрій контролю виробу. Заявник патенту: Левий С. В. Заявка № 99031501 від 18.03.1999. Пріоритет від 15.11.2001. Автор винаходу: Левий С. В.
8. Патент на винахід (Україна) № 42880 від 15.11.2001. Бюл. № 10, 7G 01N 27/82, 27/83: Спосіб магнітооптичного контролю виробу. Заявники патенту: Левий С. В., Агаліді Ю. С. Заявка № 99074257 від 22.07.1999. Пріоритет від 05.10.2001. Автори винаходу: Левий С. В., Агаліді Ю. С.
9. Troitskiy V., Posyapko I., Agalidi Y., Leviy S. Magneto-optic Flaw Detection of Subsurface Layers of Ferromagnetic Products. ECNDT 2010 - 1_01_33. P. 1-8. URL: www.idspektr.ru/10_ECNDT/reports/1_01_33.pdf.
10. Agalidi Yu., Kozhukhar P., Levyi S., Rogozhinsky Yu. & Shumsky I. Eddy current fields/magnetic recording/magneto-optic imaging NDI method. *Nondestructive Testing and Evaluation, Taylor & Francis Group*. 2012. Vol. 27, Issue 2. P. 109-119. URL: <http://www.tandfonline.com/toc/gnte20/27/2>.
11. Agalidi Yu., Kozhukhar P., Levyi S., & Turbin D. Enhanced magneto-optical imaging of internal stresses in the removed surface layer. *Nondestructive Testing and Evaluation, Taylor & Francis Group*. 2015. Vol. 30, Issue 4. P. 347-355.

12. Патент на винахід (Україна) № 94970 від 25.06.2011. Бюл. № 12, G 01N 27/90, G 01R 33/02: Індуктор вихрових струмів для магнітографічної дефектоскопії і сканер на його основі. Заявники патенту: Левий С. В., Агаліді Ю. С., Шумський І. П. Заявка № а 2009 05393 від 28.05.2009. Пріоритет від 25.06.2011. Автори винаходу: Левий С. В., Агаліді Ю. С., Шумський І. П.
13. Levyi S., Agalidi Yu., Shumsky I. Inductor of eddy currents for magnetic tape testing and scanner based thereon, Pub. No.: WO/2010/138093, 02.12.2010, International application No. PCT/UA2009/000029, 01.07.2009, IPC: G01N27/90. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10589759.2015.1044527>.
14. Patent Certificate for Invention (China) № ZL2009801595628, announcement date 30.07.2014 announcement number CN102449470. Inductor of eddy currents for magnetic tape scanning and scanner based thereon. Inventor: Levyi Sergii; Agalidi Yuriy; Shumsky Ivan. Forwarding letter for the Patent Certificate Y/R: I000364MZ-CN, O/R: PIUA1111850(YFK), filling date 01.07.2009. Patentee: Levyi Sergii; Agalidi Yuriy; Shumsky Ivan.
15. Patent Certificate for Invention (EP) № EP2435822 A1, announcement date 04.04.2012 announcement number 09845325, 09845325.1, 2009845325, EP 2435822 A1, EP 2435822A1, EP-A1-2435822, EP09845325, EP20090845325, EP2435822 A1, EP2435822A1. Inductor of eddy currents for magnetic tape scanning and scanner based thereon. Inventor: Levyi Sergii; Agalidi Yuriy; Shumsky Ivan. Forwarding letter for the Patent Certificate EP20090845325 filling date 01.07.2009. Patentee: Levyi Sergii; Agalidi Yuriy; Shumsky Ivan.
16. Götz Coenen, Robert Riegel. Seriennummer- und Markierungs-Rekonstruktion in der modernen Forensik. *Visier*. 2022. № 1. P. 78-83.
17. Arif Mamedov, Yuriy Agalidi. Case study of using Magneto-Optical Visualization during Bike Week in Daytona, FL. *Auto Theft Today, a professional E-newsletter of IAATI (International Association of Auto Theft Investigators)*. 2016. Vol. 3, Issue 4. P. 19. URL: https://www.iaatiaus.org/images/uploads/documents/APB/att_march_2016.pdf.
18. Arif Mamedov, Yuriy Agalidi. How deep can one go when analyzing obliterated VINs. *Auto Theft Today, a professional E-newsletter of IAATI (International Association of Auto Theft Investigators)*. 2016. Vol. 4, Issue 1. P. 15.
19. Bailey Henwood, Aim'ee Helliker, Rachael Hazael, Katherine Hewins. An assessment of a non-destructive magneto-optical imaging technique for the recovery of laser engraved marks from steel plates and firearm components. *Science & Justice*. 2023. Vol. 63. P. 736-742.
20. Агаліді Ю. С., Кошель О. Ю. Підвищення достовірності експертної оцінки під час дослідження знищеного рельєфного маркування магнітооптичними приладами. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2021. Вип. 23. С. 148-166. DOI: 10.32353/khrife.1.2021.
21. Кошель О. Ю. Відновлення видаленого маркування товстостінних об'єктів методом МОВ. *Судова експертиза (Forensic Science)*. 2025. № 1. С. 119-125. DOI: 10.32782/forensic.science.2025.1.16/

References:

1. Agalidi, Yu.S., Krasiuk, I.P., Levyi, S.V., & Prokhorov-Lukin, H.V. (2000). Metodyka aparatnykh kryminalistychnykh doslidzhen identyfikatsiinykh nomeriv transportnykh zasobiv [Methodology of hardware forensic examination of vehicle identification numbers]. Approved and recommended for implementation by the State Research Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine (Protocol No. 2 dated July 21, 2000).
2. Agalidi, Yu.S., Levyi, S.V., & Prokhorov-Lukin, H.V. (2003). Realizatsiia kompleksnoi metody kryminalistychnykh doslidzhen identyfikatsiinykh nomeriv avtotransportnykh zasobiv na prohramno-aparatnomu rivni [Implementation of a comprehensive methodology for forensic examination of vehicle identification numbers at the software-hardware level]. *Kryminalistyka i sudova ekspertyza - Criminalistics and Forensic Examination*, 51. Kyiv: Ministry of Justice of Ukraine.
3. Agalidi, Yu.S. (2006). Mahnitnooptychna vizualizatsiia mahnitogram reliefnykh zobrazen i strukturnykh neodnorodnostei poverkhnivoho sharu feromahnitnykh vyrobiv [Magneto-optical visualization of magnetograms of relief images and structural inhomogeneities of the surface layer of ferromagnetic products]. *Doctoral dissertation*. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv.
4. Agalidi, Yu.S. (2007). Pryntsyp i teoretychna model lokalnoho poliushnoho zbudzhennia pry mahnitohrafuvanni [Principle and theoretical model of local pole excitation in magnetography]. *Visnyk NTUU "KPI". Serii: Pryladobuduvannia - Bulletin of NTUU "KPI". Instrument Engineering Series*, 33, 55-62.

5. Agalidi, Yu.S. (2007). Doslidzhennia teoretychnoi modeli lokalnogo poliusnogo zbudzhennia pry mahnitohrafuvanni [Study of the theoretical model of local pole excitation in magnetography]. *Visnyk NTUU "KPI". Serii: Pryladobuduvannia - Bulletin of NTUU "KPI". Instrument Engineering Series*, 34, 76-82.
6. Agalidi, Yu.S. (2008). Pryntsypy mahnitnoho zapysu i typy heneratoriv lokalnogo poliusnogo zbudzhennia dlia prystroiv mahnitohrafichnogo kontroliu [Principles of magnetic recording and types of local pole excitation generators for magnetographic inspection devices]. *Visnyk NTUU "KPI". Serii: Pryladobuduvannia - Bulletin of NTUU "KPI". Instrument Engineering Series*, 35, 54-61.
7. Levyi, S.V. (2001). Mahnitooptychnyi prystrii kontroliu vyrobu [Magneto-optical device for product inspection]. Patent of Ukraine No. 36636.
8. Levyi, S.V., & Agalidi, Yu.S. (2001). Sposib mahnitooptychnoho kontroliu vyrobu [Method of magneto-optical inspection of a product]. Patent of Ukraine No. 42880.
9. Troitskiy, V., Posypaiko, I., Agalidi, Y., & Levyi, S. (2010). Magneto-optic flaw detection of subsurface layers of ferromagnetic products. *ECNDT 2010*, 1-8.
10. Agalidi, Y., Kozhukhar, P., Levyi, S., Rogozhinsky, Y., & Shumsky, I. (2012). Eddy current fields/magnetic recording/magneto-optic imaging NDI method. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 27 (2), 109-119.
11. Agalidi, Y., Kozhukhar, P., Levyi, S., & Turbin, D. (2015). Enhanced magneto-optical imaging of internal stresses in the removed surface layer. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 30 (4), 347-355.
12. Levyi, S.V., Agalidi, Yu.S., & Shumsky, I.P. (2011). Induktor vykhrovykh strumiv dlia mahnitohrafichnoi defektoskopii i skaner na yoho osnovi [Eddy current inductor for magnetographic flaw detection and scanner based thereon]. Patent of Ukraine No. 94970.
13. Levyi, S., Agalidi, Y., & Shumsky, I. (2010). Inductor of eddy currents for magnetic tape testing and scanner based thereon. WO Patent No. 2010/138093.
14. Levyi, S., Agalidi, Y., & Shumsky, I. (2014). Inductor of eddy currents for magnetic tape scanning and scanner based thereon. China Patent No. ZL2009801595628.
15. Levyi, S., Agalidi, Y., & Shumsky, I. (2012). Inductor of eddy currents for magnetic tape scanning and scanner based thereon. European Patent No. EP2435822 A1.
16. Coenen, G., & Riegel, R. (2022). Seriennummer- und Markierungs-Rekonstruktion in der modernen Forensik [Serial number and marking reconstruction in modern forensics]. *Visier*, 1, 78-83.
17. Mamedov, A., & Agalidi, Y. (2016). Case study of using magneto-optical visualization during Bike Week in Daytona, FL. *Auto Theft Today*, 3 (4), 19.
18. Mamedov, A., & Agalidi, Y. (2016). How deep can one go when analyzing obliterated VINs. *Auto Theft Today*, 4 (1), 15.
19. Henwood, B., Helliker, A., Hazael, R., & Hewins, K. (2023). An assessment of a non-destructive magneto-optical imaging technique for the recovery of laser engraved marks from steel plates and firearm components. *Science & Justice*, 63, 736-742.
20. Agalidi, Yu.S., & Koshel, O.Yu. (2021). Pidvyshchennia dostovirnosti ekspertnoi otsinky pid chas doslidzhennia znyshchenoho reliefnogo markuvannia mahnitnooptychnymy pryladamy [Improving the reliability of expert assessment in the examination of destroyed relief markings using magneto-optical devices]. *Teoriia ta praktyka sudovoi ekspertyzy i kryminalistyky - Theory and Practice of Forensic Science and Criminalistics*, 23, 148-166. <https://doi.org/10.32353/khrife.1.2021>
21. Koshel, O.Yu. (2025). (Vidnovlennia vydalenooho markuvannia товстостінних об'єктів методом MOV [Recovery of removed markings of thick-walled objects using the MOV method]). *Sudova ekspertyza - Forensic Science*, 1, 119-125. <https://doi.org/10.32782/forensic.science.2025.1.16>

Oleksandr Koshel, Pavlo Kozhukhar. Optimization of object magnetization during forensic studies of relief marking using magneto-optical imaging

Practical aspects and the instrumental framework for ensuring the effectiveness of forensic examinations of relief markings on ferromagnetic objects (removed, damaged, or concealed by coatings) using magneto-optical imaging are considered.

The magneto-optical method for examining relief markings consists of several sequential stages: magnetizing the object under inspection to a certain level, transferring the spatial magnetic pattern of the object – associated with the relief and structure of its surface – onto magnetic tape, and subsequently performing magneto-optical visualization of this copy.

For a number of complex cases, additional magnetization is applied using external magnets mounted on the object and connected in a chain. Optimization of the magnetization level is carried out experimentally by iterative adjustment and requires testing various configurations of magnets and their connections, which is evaluated based on subsequent magnetic copying and magneto-optical visualization. These labor-intensive operations are time-consuming and do not guarantee the achievement of maximum examination efficiency.

The technical challenge lies in ensuring optimal magnetization: insufficient magnetization results in an unjustified loss of signal level, while excessive magnetization leads to oversaturation of the dynamic range. Thus, manual iterative selection of magnetization parameters is a demanding procedure that does not ensure maximum research efficiency.

To provide optimal magnetization of the object, a magnetization indicator adapted to magnetic-copying conditions was developed and implemented. Using test and practical examples of examinations of obliterated firearm markings, it is demonstrated how magnetization adjustment influences the effectiveness of recovering primary marking data in areas of the serial number plate with different wall thicknesses.

The use of the indicator significantly simplifies and accelerates the magnetization-adjustment process by eliminating redundant magnetic-copying and magneto-optical visualization operations at each iteration. It also ensures optimal magnetization, which determines the informativeness of magnetic copying and, consequently, increases the overall effectiveness of the examination.

Keywords: *magneto-optical imaging, non-destructive examination, restoration of obliterated markings, magnetization optimization.*