

research of “Karat” type seal. As examples, the list of signs and traces that are formed on the surfaces of seals of similar types, in the process of their opening. The descriptions and illustrations of the revealed traces are given, which remain on the seals of the anchor-type “Karat”. The article also describes an algorithm for conducting similar studies and an approach to a comprehensive evaluation of the traces themselves and justifies the need to determine the mechanism of their formation and identified. The article raises the problem of both a possible complex study of anchor-type anchoring devices and problems arising from the incorrectness of the questions posed to the expert, which can lead to unreasonable and incorrect conclusions.

According to the results of the analysis, recommendations were given regarding a comprehensive expert approach to assessing the characteristics that reflected in the traces which identified at the objects of the study.

УДК 343.983

В. С. Бондар
кандидат юридичних наук, доцент,
начальник відділу

*Луганський державний університет внутрішніх справ
імені Е. О. Дідоренка*

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ СУДОВО-БАЛІСТИЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ

Статтю присвячено визначенню шляхів оптимізації інформаційно-аналітичного забезпечення проведення судово-балістичних експертиз. Автор пропонує комплекс сучасних методів аналізу безпосередніх об'єктів дослідження, а також інші шляхи, які мають сприяти створенню повністю автоматичної системи судово-балістичної ідентифікації, здатної вирішувати аналітичні завдання.

Досудове розслідування та судовий розгляд кримінальних правопорушень, учинених із застосуванням вогнепальної зброї, потребує вирішення широкого кола взаємопов'язаних задач у рамках використання експертних технологій. Однією з них є ідентифікація вогнепальної зброї за слідами на стрільяних гільзах та кулях, яка здійснюється в процесі проведення судових експертиз. Для цього використовуються автоматизовані балістичні ідентифікаційні системи (далі — АБІС), автоматизовані балістичні ідентифікаційні комплекси (далі — АБІК).

Реалізація функціональних можливостей АБІС забезпечується закладеними в системі науково-технічними рішеннями: а) математичний алгоритм кодування та розпізнання зображень, які збігаються, формування пріоритетного списку за ступенем їх подібності, оснований на методі кореляційного аналізу; б) автоматизований пристрій введення — балістичний сканер — дозволяє отримати зображення поверхонь та слідів дуже високої якості.

Разом із тим, з точки зору практичної реалізації в експертних технологіях, існуючі методи та алгоритми ідентифікації потребують конкретизації та подальшого розвитку. Це викликано комплексом причин.

По-перше, в умовах напруженої стрільби найбільш яскраво виражені явища термопластичного зношення стволу. Результатом зношування є поступова зміна профілю направляючої частини каналу стволу, як у поздовжньому, так і в поперечному перерізі. Ці зміни, своєю чергою, позначаються на розмірі зусиль взаємодії ведучого пояску на направляючої частини каналу стволу. Збільшення діаметру каналу стволу по мірі його зношування погіршує умови горіння порохового заряду (збільшуються витoki порохового газу в зазор між ведучим пояском та направляючою частиною каналу стволу). Це може призвести до зниження балістичного тиску на даній ділянці руху та, як наслідок, до зменшення швидкості руху снаряду.

По-друге, деякі існуючі технології виробництва патронів не забезпечують симетричний розподіл їх маси щодо поздовжньої вісі снаряду. Причинами цього є різностінність штапованої або литої заготовки, несиметричний обтиск головної частини кулі, відсутність співвісності центруючих баз на операціях механічної обробки. Асиметрія маси корпусу кулі є найважливішою причиною нутації і прецесії її осі при русі по каналу ствола і появи початкових збурень і, отже, обумовлює можливість появи відбитків різної глибини.

Отже, індивідуальні ознаки зброї, які відображуються в слідах на стріляних кулях та гільзах, мають високий ступінь варіативності. Наприклад, оцінка унікальності наборів сумішених трас у слідах на кулях під час дослідження спирається на практичний досвід експерта та, по суті є його суб'єктивним рішенням. Відсутність методики такої оцінки створює проблеми для об'єктивного обґрунтування категоричних позитивних висновків. Наслідком цього є проблема коректного формування пріоритетного списку за результатами автоматичного пошуку, проведеного автоматизованими балістичними ідентифікаційними системами (АБІС).

Для результативної автоматичної ідентифікації зброї необхідною є також розробка алгоритмів проведення перевірок за масивами, які містять десятки тисяч цифрових зображень однотипних об'єктів. Отже, ефективність порівняння слідів багато в чому визначається коректністю виділення індивідуальних ознак слідів бойків, яка залежить від таких факторів, як:

- нерівномірна освітленість цифрових зображень (у градаціях сірого), викликана великою глибиною слідів бойків та кривизною їх поверхні;
- різноманітність форм індивідуальних ознак, що не дозволяє однаково ефективно виділяти їх за допомогою одного алгоритму;
- присутність на зображеннях просторових шумів, які маскують індивідуальні ознаки [10, с. 181].

Зазначені фактори суттєво ускладнюють індивідуалізацію та ідентифікацію ручної вогнепальної зброї за слідами на кулях та гільзах як об'єкту криміналістичного дослідження, залученого до сфери кримінального процесу в якості засобів злочину. Тому, ототожнення вельми широкого і різноманітного кола стрілецької вогнепальної зброї становить нині самостійну криміналістичну проблему.

До того ж при всій різноманітності та досконалості технічних засобів виділення наявних в слідах ідентифікаційних ознак здійснюється експертом візуально. Процес порівняння та аналіз виділених виявлених збігів або відмінностей ідентифікаційних ознак також відбувається в результаті його розумової діяльності. Остання дія, яка слугує основою для формулювання висновків, потребує наявності відповідних знань та досвіду. Таким чином, висновок про належність слідів одному й тому самому екземпляру зброї завжди залишається за експертом, що, своєю чергою призводить до помилок кодування зображення розгортки кулі, серед яких найбільш типовими є:

1) невірне встановлення ліній, які позначають сліди бойових та холостих граней нарізу;

2) невідповідність рамки кольору сліду;

3) невірне встановлення рамок на зображення трас слідів [4, с. 157–159].

На даний час можна вести мову більше про автоматизовані, аніж про автоматичні системи, які здатні вирішувати технічні, а не аналітичні завдання.

Тому сучасна практика визначає необхідність переходу на більш високий методологічний рівень, оснований на застосуванні новітніх технічних засобів та методів аналізу. Подібна перспектива відкривається при використанні цифрової та комп'ютерної техніки та може сприяти усуненню диспропорції між достатньо розробленими способами отримання інформації та «ручними» методами її обробки та аналізу.

Успішний розвиток судової балістики, що обґрунтовує можливість індивідуалізації та подальшої ідентифікації нарізної вогнепальної зброї слідами на кулях і гільзах, створило передумови для розробки наукових основ відповідного криміналістичного дослідження. Основними передумовами слід вважати тенденцію максимального використання всіх відобразилися в слідах взаємодії ідентифікаційних полів, об'єктів, які ототожнюються. Підсумовування інформаційних полів об'єктів, які контактували при взаємодії, визнано способом пізнання індивідуальності взаємно відображених слідів такої взаємодії. Крім того, у теперішній час проблему слід розглядати з урахуванням сучасного розвитку зброярної техніки, промислових та комп'ютерних технологій. В зв'язку з цим існуючі теоретичні положення за багатьма позиціями мають бути переглянуті та доповнені.

За для вирішення мети доповіді розглянемо:

1. функції та принципи роботи сучасних АБІС;

2. загальні прийоми ідентифікації зброї;

3. вимоги до інформаційних систем задля ефективного аналізу;

4. систематизуємо найбільш ефективні методи аналізу.

Загальні прийоми ідентифікації зброї за слідами на стріляних кулях, розроблені судовою балістикою [8, 9] полягають у наступному:

– порівнювати між собою необхідно однотипні сліди: первинний з первинним, вторинний з вторинним тощо.

– порівнювані сліди (так само як і кулі) повинні бути однаково орієнтовані, що забезпечується:

1) однаковою орієнтацією куль у просторі;

2) однаковим положенням порівнюваних ділянок слідів відносно оптичної вісі мікроскопу;

– порівнювані сліди мають бути однаково освітлені;

○ напрямок та кут нахилу освітлювача мікроскопу повинен відповідати положенню освітлювача в сканері АБІС;

– порівнювані сліди повинні мати однакове збільшення;

○ коефіцієнт збільшення та роздільна здатність цифрових зображень, отриманих на сканері АБІС та на традиційному мікроскопі, повинні співпадати, тобто бути приведені до одного масштабу;

○ для забезпечення симетричності спотворень оптична вісь об'єктива мікроскопу повинна співпадати з центром кадру та при цьому бути перпендикулярною до площини, дотичної до центру кадру;

– принцип підсумовування ознак реалізується за умови, що, якщо, наприклад, поєдналися траси вторинних слідів, що співпадають, то підсумовувати можна тільки траси, які співпадають у слідах, що мають один й той самий порядковий номер.

При проведенні порівняльних досліджень АБІС забезпечує візуальне порівняння зображень для розгортки та слідів куль методами зіставлення та суміщення, для гільз — зіставленням, суміщенням та накладенням як в довільному порядку, так і відповідно до рекомендованих списків.

На початкових етапах розвитку АБІС усі системи оперували двовимірними (2D) методами формування, порівняння та дослідження цифрових зображень. Пізніше в ряді систем з'явилась можливість отримання та використання просторової (3D) інформації про топографію поверхонь. Даний напрям є перспективним для підвищення характеристик автоматичних порівнянь та надання додаткових можливостей візуального аналізу. Спеціальна «пошарова» технологія сканування за всією глибиною деформації об'єкта дозволяє отримати й високоякісне 2D-зображення, й просторову 3D-інформацію про поверхню об'єкта. Отримана інформація надає можливість синтезу тривимірних моделей та профілів поверхонь.

Як було вказано, більш точним методом отримання 3D-інформації про сліди зброї на кулях та гільзах у балістичних системах є метод заміру поверхонь конфокальними сенсорами, який був реалізований в канадській системі IBIS Forensic Technology. Версія системи, яка дозволяє отримувати тривимірні зображення поверхонь куль, називається IBIS BULLETTRAX-3D.

Зображення поверхонь порівнюваних об'єктів, які отримуються за допомогою вказаної версії, мають дуже високу якість, що в перспективі дозволяє повністю відмовитись від використання порівняльного мікроскопу.

Аналіз сформованих за результатами автоматичних пошуків рекомендованих списків із застосуванням реалізованих у АБІС інструментів для по-

рівняльних досліджень зображень дозволяють оператору зробити висновок, чи присутній в базі даних об'єкт, стріляний з того ж самого екземпляру зброї, що й досліджуваний об'єкт, й тим самим:

– встановити причетність екземпляру зброї до вчиненого кримінального правопорушення, якщо при реєстрації зображення слідів зброї на кулі (гільзі) встановлено співпадіння зі слідами на кулі (гільзі), зображення якої знаходиться в оперативно-пошуковій колекції куль та гільз, вилучених під час проведення огляду місця події та інших слідчих (розшукових) дій;

– встановити екземпляр зброї та власника, з якого була стріляна куля або стріляна гільза, якщо за результатами пошуків встановлено співпадіння зображення слідів зброї, які відобразилися на її поверхні, з зображенням слідів на кулі (гільзі), які знаходяться в реєстрованому розділі бази даних;

– об'єднати злочини, які вчиняються із застосуванням одного екземпляру зброї, якщо встановлено співпадіння зображень слідів зброї на декількох кулях (гільзах), поміщених у кримінальний розділ бази даних.

Крім того, широкі можливості АБІС надає для аналізу зображень:

1) визначення ступеню зносу та стану каналу ствола, його індивідуальних ознак за слідами на ведучій поверхні кулі;

2) визначення форми, розмірів, взаєморозташування слідоутворюючих деталей зброї за їх слідами, які відобразилися на гільзі;

3) підготовки ілюстрацій для документального оформлення експертиз об'єктів [4, с. 156–157].

Появі аналітичних систем сприяло розуміння факту, що в базах даних міститься не лише інформація, а й знання (приховані закономірності).

У процесі порівняльного аналізу можуть бути використані різні методи: аналітичний пошук, ототожнення з використанням експертних технологій об'єктів дослідження; математичне моделювання (кореляційний, регресійний, факторний аналіз, побудова імітаційних моделей тощо).

До специфічних методів інтелектуального аналізу відносяться алгоритми обмеженого перебору, кластеризація та класифікація тощо.

Переваги, які дає застосування ЕОМ для зберігання, систематизації та вибірки реєстраційної інформації, полягають не тільки в необмеженій інформаційній ємності та швидкій дії ЕОМ, але головним чином в автоматичному виконанні формально-логічних операцій з аналізу й переробки отриманих відомостей. Один і той самий об'єкт може розглядатися відносно різних структурних характеристик.

В АБІС виникає необхідність в обробці бінарних зображень¹³. У подібних системах необхідною є висока точність та швидкість реалізації алгоритмів за мінімальних витратах пам'яті. Традиційні методи морфологічних перетворень стають у даному випадку неефективними.

¹³ Бінарне зображення — це цифрове зображення В [г, с], пікселі якого приймають значення від 0 до 1.



Рис. 1. Вихідне зображення розгортки кулі



Рис. 2. Бінарізоване зображення розгортки кулі

Вибір вихідного опису об'єктів є однією з центральних задач проблеми розпізнавання образів. При вдалому виборі вихідного опису (простору ознак) задача розпізнавання може стати тривіальною та, навпаки, невдало обраний вихідний опис може призвести або до дуже складної переробки інформації, або взагалі до відсутності вирішення.

В методах, основаних на системі ознак використовуються еталони об'єктів. Однак, у якості безпосередніх елементів порівняння виступають не елементи зображень об'єкта та еталону, а ознаки об'єкта та еталона. Шляхом виділення ознак вдається створити стиснутий опис об'єкта в обраній системі ознак, що різко скорочує об'єм даних, які зберігаються в пам'яті системи, та, головне, час обробки інформації порівняно з іншими методами. Однак є очевидним, що реалізація алгоритмів виділення ознак також пов'язана з певними витратами часу й тому при виборі найбільш інформативних ознак необхідно брати до уваги ступінь складності процедури виділення ознак за обмежений час аналізу [1, с. 76].

В автоматизованих ідентифікаційних системах найбільш прийнятними є геометричні ознаки об'єктів:

1. площа та периметр зображення об'єкта;
2. розміри вписаних та описаних найпростіших геометричних фігур (окружностей, прямокутників, трикутників тощо);
3. число та взаємне розташування кутів;
4. моменти інерції зображень об'єктів [1, с. 80].

Моменти інерції є доволі інформативними ознаками для наступного етапу розпізнавання образів, але їх визначення є не таким вже й простим завданням. Разом із тим, в деяких випадках можуть використовуватись проміжні результати обчислень, наприклад, для визначення кутової орієнтації зображення об'єкта відносно приладової системи координат.

Важливо зазначити, що найбільший ефект скорочення часу обробки інформації досягається при раціональному розподіленні типів використовуваних ознак за рівнями розпізнавання. Так, на нижніх рівнях, коли приходится мати справу з максимальним числом варіантів, необхідно залучати ознаки, які не потребують великих обчислювальних витрат на їх визначення

(наприклад, площі та периметри об'єктів), а найбільш інформативні (такі, наприклад, як моменти інерції) — застосовувати на верхньому рівні, де число альтернатив є мінімальним.

Таким чином, індивідуальні ознаки вогнепальної зброї, які відобразились в слідах бойка, можна описати за допомогою різних дескрипторів — характеристик, які визначаються однозначним чином. Дескрипторами, які не залежать від орієнтації зображення є: площа, периметр, моменти інерції. Ці дескриптори формують вектор станів ознаки. Кластерний аналіз дозволяє на основі порівняння таких векторів робити висновки щодо подібності слідів. До того ж, для подальшого скорочення кола пошуку «парних» слідів (наприклад, до чисельності, рівної 1–2 % від загального числа об'єктів тестового масиву) є необхідним додатковий аналіз слідів з пріоритетного списку за дескрипторами, які описують форму об'єкта. До таких дескрипторів можна віднести контури, побудовані за зовнішньою межею виділених ознак. При цьому не відбувається втрати інформації, але значно зменшується її об'єм (пікселі, які не належать до межі об'єкта не несуть інформації). Вилучення контурів можливо здійснити за допомогою відповідного алгоритму, реалізованого в бібліотеці OpenCV. Апроксимація контуру дозволяє без суттєвої втрати інформації в разі зменшити кількість точок у контурі та значно прискорити контурний аналіз. Контурне (векторне) подання дозволяє, наприклад, підрахувати кількість дефектів випуклості фігури [12, с. 181–186; 2, с. 7].

Застосування контурного аналізу в подальшому дозволить більш коректно сформувати «короткий» пріоритетний список.

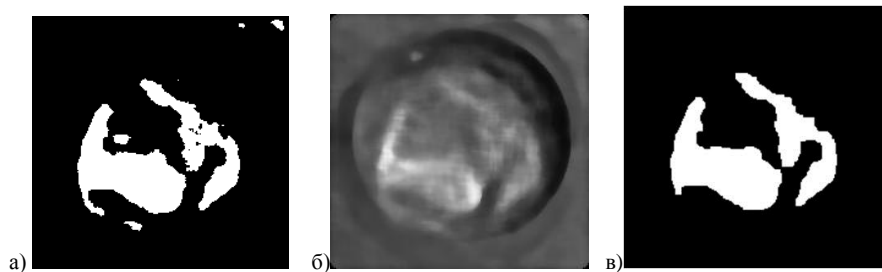


Рис. 3. Бінаризація зображення з вирівняним освітленням: а) результат застосування медіанної фільтрації для зображення сліду бойка з вирівняною яскравістю; б) бінарізоване зображення; в) бінарізоване зображення після застосування операції морфологічного замикання та розмикання та видалення об'єктів площею менш 40 пікселів

Суттєве спрощення вихідних зображень при їх бінаризації за розробленими алгоритмами дозволяє зберегти основні характеристики (дескриптори) ознак, такі, як площа, периметр, конфігурація, радіуси кіл тощо. Застосування різних алгоритмів обробки зображень дозволяє більш коректно виділяти ознаки та, в цілому, підвищити ефективність перевірок в автоматичному режимі за базами даних цифрових зображень слідів бойків.

Перелік посилань

5. *Андреев А. Л.* Автоматизированные видеoinформационные системы. Санкт-Петербург, 2011. 120 с.
6. *Афонасенко А. В.* Быстрые морфологические преобразования для задач коррекции и преобразования бинарных изображений // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 8. С. 122–126.
7. *Бовырин А. В.* Основные цветовые модели, представление изображения, базовые операции над изображениями: лекция. Нижний Новгород, 2013. 14 с.
8. *Кокин А. В.* Концептуальные основы криминалистического исследования нарезного огнестрельного оружия по следам на пулях: моногр. Москва, 2013. 191 с.
9. *Селезнёв Е. П., Макаренко Н. Г., Федоренко М. В.* Способы распознавания оружия по предварительно обработанным цифровым изображениям следов на пулях и гильзах // Известия Саратовского университета. Серия Экономика. Управление. Право. Ч. 2. 2012. Вып. 3. С. 58–60.
10. *Кокин А. В., Ярмак К. В.* Судебная баллистика и судебно-баллистическая экспертиза: учебник для вузов, обучающихся по специальности «Судебная экспертиза» Москва, 2015. 350 с.
11. *Томпсон Р., Чу В., Сонг Дж.* Идентификация по следам на пулях с использованием измерения топографии микронеоднородностей и корреляции. Объединение микроскопии статистических методов // Известия Саратовского университета. Сер. Экономика. Управление. Право. Ч. 2. 2012. Вып. 3. С. 58–60.
12. *Федоренко В. А.* Актуальные проблемы судебной баллистики: моногр. Москва, 2011. 208 с.
13. *Федоренко В. А., Корнилов М. В.* Выделение индивидуальных признаков на цифровых изображениях следов бойков // Известия Саратовского университета. Серия Экономика. Управление. Право. Ч. 2. 2014. Вып. 1. С. 181–186.
14. *Федоренко В. А., Корнилов М. В., Сидак Е. В.* Повышение эффективности работы баллистических идентификационных систем за счет применения растровой электронной микроскопии и цифровых технологий // Судебная экспертиза. 2012. № 3 (31). С. 70–79.

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПРОВЕДЕНИЯ СУДЕБНО-БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ**

В. С. Бондарь

Досудебное расследование и судебное разбирательство уголовных преступлений, совершенных с применением огнестрельного оружия, требует решения широкого круга взаимосвязанных задач в рамках использования экспертных технологий. Одной из них является идентификация огнестрельного оружия по следам на стреляных гильзах и пулях, которая осуществляется в процессе проведения судебных экспертиз. Для этого используются автоматизированные баллистические идентификационные системы.

Актуальной проблемой автоматической идентификации оружия является разработка эффективных алгоритмов проведения проверок по массивам, которые содержат десятки тысяч цифровых изображений однотипных следов бойков.

В АБИС возникает необходимость в обработке бинарных изображений. В подобных системах необходима высокая точность и скорость реализации алгоритмов при минимальных затратах памяти. Традиционные методы морфологических преобразований становятся в данном случае неэффективными.

В автоматизированных идентификационных системах наиболее приемлемыми являются геометрические признаки объектов:

1. площадь и периметр изображения объекта;
2. размеры вписанных и описанных простых геометрических фигур (окружностей, прямоугольников, треугольников и т.д.);
3. число и взаимное расположение углов;
4. моменты инерции изображений объектов.

Индивидуальные признаки огнестрельного оружия, которые отразились в следах бойка, можно описать с помощью различных дескрипторов — характеристик, которые определяются однозначным образом. Дескрипторами, которые не зависят от ориентации изображения: площадь, периметр, моменты инерции. Эти дескрипторы формируют вектор состояний признаки. Кластерный анализ позволяет на основе сравнения таких векторов делать выводы о сходстве следов.

Дальнейшим направлением совершенствования использования АБИС, которое будет способствовать более эффективному поиску объектов, есть разработка идеологии единого классификатора шаров и гильз, а также следов, остающихся на их поверхностях частями оружия, и построение уже на этой основе автоматизированной поисковой системы оружия. Для обеспечения возможности формирования различными исследователями единой базы данных поисковой системы необходима унификация методики измерений параметров следов в соответствии с указанным единым классификатором. Дальнейшее совершенствование компьютерной техники позволит применить более сложные математические методы обработки следовой информации и осуществить переход к работе с трехмерными характеристиками следов. Именно эти изменения должны способствовать созданию полностью автоматической системы судебно-баллистической идентификации, способной решать не только технические, но и аналитические задачи.

INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT FOR FORENSIC BALLISTIC EXAMINATION

V. Bondar

Pre-trial investigation and trial of criminal offenses committed with the use of firearms, requires solving a wide range of interrelated tasks within the framework of the use of expert technologies. One of them is the identification of firearms in the footsteps of shooting cartridges and bullets, which is carried out during forensic examinations. For this purposes are used automated ballistic identification systems.

The actual problem of automatic weapon identification is the development of effective algorithms for conducting checks on arrays that contain tens of thousands of digital images of the same type of traces of strikers.

There is a need in ABIS to process binary images. In such systems, high accuracy and speed of implementation of algorithms are required with minimal memory costs. Traditional methods of morphological transformations become ineffective in this case.

In automated identification systems, the most acceptable are the geometric features of objects:

1. the area and perimeter of the image of the object;
2. the dimensions of inscribed and described simple geometric shapes (circles, rectangles, triangles, etc.);
3. number and relative position of angles;
4. moments of inertia of images of objects.

The individual signs of firearms that are reflected in the marks of the striker can be described with the help of various descriptors — characteristics that are uniquely determined. Descriptors that do not depend on the orientation of the image: area, perimeter, moments of

inertia. These descriptors form a state vector of signs. Cluster analysis allows, on the basis of a comparison of such vectors, to draw conclusions about the similarity of traces.

The further direction of improving the use of ABIS, which will contribute to a more effective search for objects, is the development of the ideology of a single classifier for balls and cartridges, as well as traces remaining on their surfaces with parts of weapons and building on this basis an automated search system for weapons. To ensure the possibility of the formation by different researchers of a unified database of the search system, it is necessary to unify the technique for measuring trace parameters in accordance with the specified single classifier. Further improvement of computer technology will allow applying more sophisticated mathematical methods for processing trace information and make a transition to work with three-dimensional characteristics of tracks. It is these changes that should contribute to the creation of a fully automatic forensic-ballistic identification system capable of solving not only technical but also analytical tasks.