

*Бондар В. С.,  
кандидат юридичних наук, доцент, доцент  
кафедри спеціальних та професійних дисциплін  
Луганського державного університету  
внутрішніх справ імені Е. О. Дідоренка*

## ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ СУДОВО-БАЛІСТИЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ

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

**Ключові слова:** аналіз, автоматизована балістична ідентифікаційна система, база даних, інформація, ідентифікація, інформаційно-аналітичне забезпечення, криміналістична діяльність, контурний аналіз.

**Постановка проблеми.** Досудове розслідування та судовий розгляд кримінальних правопорушень, вчинених 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 стріляних 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).

Наприклад, автоматизований балістичний ідентифікаційний комплекс «Кондор» застосовується в експертних підрозділах країн Європи та Південно-східної Азії. Федеральний інститут криміналістики Німеччини використовує комплекс як еталонний інструмент для оцінки та контролю якості експертиз, що виконуються європейськими експертами в рамках спеціальних програм підвищення кваліфікації.

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.

Комплекси мають низку функціональних можливостей, які принципово не можуть бути реалізовані криміналістичними порівняльними мікроскопами. Це стосується таких аспектів:

- 1) отримання повних розгортки зображень стріляних куль та бічних поверхонь стріляних гільз;
- 2) можливості синхронізації огляду порівнюваних зображень з одночасним їх прокрученням;
- 3) пошуку ознак, які співпадають в автоматичному режимі [8, с. 126].

При цьому 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 ствола. Результатом зношування є поступова зміна профілю направляючої частини каналу ствола, як у поздовжньому, так і в поперечному перерізі ствола. Ці зміни у свою чергу позначаються на розмірі зусиль взаємодії ведучого пояску на направляючої частини каналу ствола. Збільшення діаметру каналу ствола по мірі його зношування погіршує умови горіння порохового заряду (збільшуються витоки порохового газу в зазор між ведучим пояском та направляючою частиною каналу ствола). Це може призвести до зниження балістичного тиску на цій 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 штампованої або литої заготовки, несиметричний обтиск головної частини кулі, відсутність співвісності центруючих баз на операціях механічної обробки. Асиметрія маси корпусу кулі є найважливішою причиною нутації та прецесії її осі під час руху каналом ствола та появи початкових збурень, а отже, обумовлює можливість появи відбитків різної глибини.

Актуальною проблемою автоматичної ідентифікації зброї також є розробка ефективних алгоритмів проведення перевірок за масивами, які містять десятки тисяч цифрових зображень однотипних слідів бойків. Ефективність порівняння слідів багато в чому визначається коректністю виділення індивідуальних ознак слідів бойків, яка залежить від таких факторів:

- 1) нерівномірна освітленість цифрових зображень (у градаціях сірого), викликана великою глибиною слідів бойків та кривизною їх поверхні;
- 2) різноманітність форм індивідуальних ознак, що не дозволяє однаково ефективно виділяти їх за допомогою одного алгоритму;
- 3) 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'єкта криміналістичного дослідження, залученого до сфери кримінального процесу як засіб злочину. Тому ототожнення вельми широкого й різноманітного кола ручної вогнепальної зброї становить нині самостійну криміналістичну проблему.

Крім того, за наявності всієї 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 у свою чергу призводить до помилок кодування зображення розгортки кулі, серед яких найбільш типовими є такі:

- 1) невірне встановлення ліній, які позначають сліди бойових та холодних граней нарізу;
- 2) невідповідність рамки кольору сліду;
- 3) невірне встановлення рамок на зображення трас слідів [4, с. 157–159].

Отже, наразі 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 під час використання цифрової та комп'ютерної техніки й може сприяти усуненню диспропорції між достатньо розробленими способами отримання інформації та «ручними» методами її обробки та аналізу.

Вирішенню проблем інформаційно-аналітичного забезпечення проведення судово-балістичних експертиз присвячені роботи С.Б. Веніга, П.В. Гіверца, А.В. Кокіна [4, 6], О.В. Стальмахова, О.В. Сідака [10], В.Г. Хахановського, В.О. Федоренка [8–10], В.Ю. Шепітька та інших авторів.

Проте ефективність роботи з об'єктами судово-балістичних досліджень за допомогою АБІС потребує вдосконалення методів аналізу зображень куль та гільз.

**Метою статті** є висвітлення сучасних можливостей аналізу в інформаційно-аналітичному забезпеченні проведення судово-балістичних експертиз із застосуванням новітніх інформаційних технологій та програмно-апаратних засобів для вирішення не тільки технічних, але й аналітичних задач.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** 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 ідентифікаційних полів, які відобразилися в слідах взаємодії об'єктів, які ототожнюються. Підсумовування інформаційних полів об'єктів, які контактували під час взаємодії, визнано способом пізнання індивідуальності взаємно відображених слідів такої взаємодії. Крім того, нині проблему слід розглядати з урахуванням сучасного розвитку зброярної техніки, промислових та комп'ютерних технологій. У зв'язку із цим існуючі теоретичні положення за багатьма позиціями мають бути переглянуті та доповнені. В.О. Федоренко також визнає підсумовування ідентифікаційно значущої інформації основним прийомом обґрунтування позитивних категоричних висновків під час ідентифікації, маючи на увазі підсумовування співпадаючих у порівнюваних слідах трас [8, с. 137].

За для вирішення мети статті розглянемо такі питання:

- 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 такому.

1. Порівнювати між собою необхідно однотипні сліди: первинний із первинним, вторинний із вторинним тощо.

2. Порівнювані сліди (так само як і кулі) повинні бути однаково орієнтовані. Це забезпечується такими факторами:

- однаковою орієнтацією куль у просторі;
- однаковим положенням порівнюваних ділянок слідів щодо оптичної вісі мікроскопу.

3. Порівнювані сліди мають бути однаково освітлені.

4. Порівнювані сліди повинні мати однакове збільшення.

5. Принцип підсумовування ознак реалізується за такої мови: якщо, наприклад, поєдналися траси вторинних слідів, що співпадають, то підсумовувати можна тільки траси, які співпадають у слідах, що мають один і той самий порядковий номер.

Під час проведення порівняльних досліджень АБІС забезпечує візуальне порівняння зображень для розгортки та слідів куль методами зіставлення та суміщення, для гільз – зіставленням, суміщенням та накладенням як у довільному порядку, так і відповідно до рекомендованих списків.

Найбільш відомі АБІС представлені переважно продукцією таких виробників:

- АРМ «Баліст» (ТРФ НТУУ «КПШ», Україна);
- АРМ «Рикошет» (ТРФ НТУУ «КПШ», Україна);
- комплекс «КОНДОР» (ВАТ «СДЦ», Росія);
- комплекс «ТАІС» (ВАТ «ЛДІ-Русприбор», Росія);
- комплекс «Арсенал» (ЗАТ «Системи Папілон», Росія);
- комплекс «ІВІС» (Integrated Ballistic Identification System,

створений компанією «Forensic Technology Inc», Canada), який завдяки компонентам BULLETRAX та Matchpoint здатний працювати та здійснювати порівняльний аналіз 2D та 3D зображень поверхонь куль та гільз, навіть стріляних зі зброї з полігональними й гладкими стволами, а також деформованих об'єктів;

- комплекс «Drug Fier» (FBI, USA).

На початкових етапах розвитку АБІС всі системи оперували двовимірними (2D) методами формування, порівняння та дослідження цифрових зображень. Пізніше в низці систем з'явилась можливість отримання та використання просторової (3D) інформації про топографію поверхонь. Такий 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, і просторову 3D-інформацію про поверхню об'єкта. Отримана інформація надає можливості 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 у канадській системі IBIS Forensic Technology. Версія системи, яка дозволяє отримувати тривимірні зображення поверхонь куль, називається IBIS BULLETRAX-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 порівняльних досліджень зображень дозволяють оператору зробити висновок, чи присутній у базі даних об'єкт, стріляний із того ж самого екземпляру зброї, що й досліджуваний об'єкт, й тим самим:

- встановити причетність екземпляру зброї до вчиненого кримінального правопорушення, якщо під час 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, із 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:

– визначення ступеню зносу та стану каналу стволу, його індивідуальних ознак за слідами на ведучій поверхні кулі;

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

– 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 методики: 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 щодо різних структурних характеристик.

В АБІС виникає необхідність в обробці бінарних зображень<sup>1</sup>. У подібних системах необхідною є висока точність та швидкість реалізації алгоритмів за мінімальних витратах пам'яті. Традиційні методи морфологічних перетворень стають у такому разі неефективними.



Рис. 1. Вихідне зображення розгортки кулі



Рис. 2. Бінаризоване зображення розгортки кулі

Вибір вихідного опису об'єктів є однією із центральних задач проблеми розпізнавання образів. За вдалого вибору вихідного опису (простору ознак) задача розпізнавання може стати тривіальною та, навпаки, невдало обраний вихідний опис може

привести або до дуже складної переробки інформації, або взагалі до відсутності вирішення.

У методах, основаних на системі ознак використовуються еталони об'єктів. Однак як безпосередні елементи порівняння виступають не елементи зображень об'єкта та еталону, а ознаки об'єкта й еталону. 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 час обробки інформації порівняно з іншими методами. Однак є очевидним, що реалізація алгоритмів виділення ознак також пов'язана з певними витратами часу й тому під час вибору найбільш інформативних ознак необхідно брати до уваги ступінь складності процедури виділення ознак за обмеженої час аналізу [1, с. 76].

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

– площа та периметр зображення об'єкта;

– розміри вписаних та описаних найпростіших геометричних фігур (окружностей, прямокутників, трикутників тощо);

– число та взаємне розташування кутів;

– 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 уже й простим завданням. При цьому в деяких випадках можуть використовуватись проміжні результати обчислень, наприклад, для визначення кутової орієнтації зображення об'єкта щодо приладової системи координат.

Важливо зазначити, що найбільший ефект скорочення часу обробки інформації досягається за раціонального розподілення типів використовуваних ознак за рівнями розпізнавання. Так, на нижніх рівнях, коли приходить мати справу з максимальним числом варіантів, слід 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.

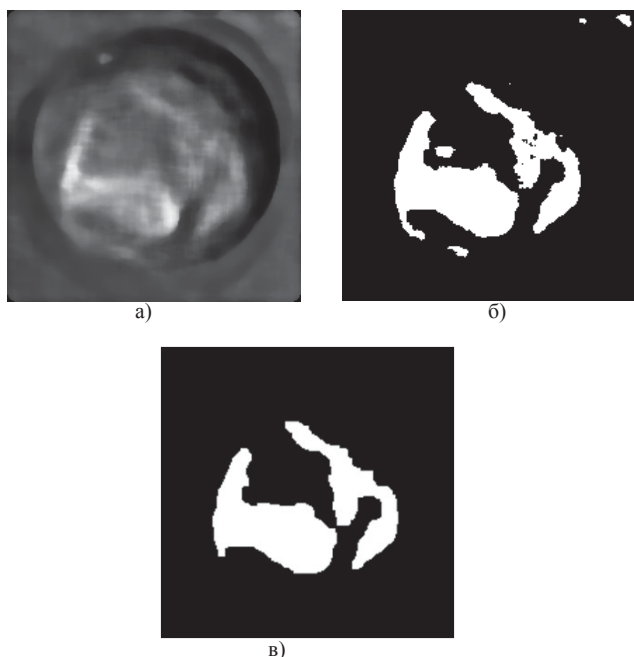
Таким чином, індивідуальні ознаки вогнепальної зброї, які відобразились у слідах бойка, можна описати за допомогою різних дескрипторів – характеристик, які визначаються однозначним чином. Дескрипторами, які не залежать від орієнтації зображення, є такі: площа, периметр, моменти інерції. Ці дескриптори формують вектор станів ознаки. Кластерний аналіз дозволяє на основі порівняння таких векторів робити висновки щодо подібності слідів. Крім того, 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 із 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 сформулювати «короткий» пріоритетний список.

Суттєве спрощення вихідних зображень під час їх бінаризації за розробленим алгоритмам дозволяє зберегти основні характеристики (дескриптори) ознак, такі, як площа, периметр,

<sup>1</sup> Бінарне зображення – це цифрове зображення  $B [r, c]$ , пікселі якого приймають значення від 0 до 1.





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

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.

**Висновки.** Подальшим напрямом вдосконалення використання АБІС, яке сприятиме більш ефективному пошуку об'єктів, є розробка ідеології єдиного класифікатора куль та гільз, а також слідів, що залишаються на їх поверхнях частинами зброї, а також побудова вже на цій основі автоматизованої пошукової системи зброї. Для забезпечення можливості формування різними дослідниками єдиної бази даних пошукової системи необхідна уніфікація методики вимірювань параметрів слідів відповідно до вказаного єдиного класифікатора. Подальше вдосконалення комп'ютерної техніки дозволить застосувати більш складні математичні методи обробки слідової інформації та здійснити перехід до роботи з тривимірними характеристиками слідів. Саме ці зміни мають сприяти створенню повністю автоматичної системи судово-балістичної ідентифікації, здатної вирішувати не лише технічні, але й аналітичні завдання.

#### **Література:**

1. Андреев А.Л. Автоматизированные видеoinформационные системы / А.Л. Андреев. – СПб. : НИУ ИТМО, 2011. – 120 с.
2. Афонасенко А.В. Быстрые морфологические преобразования для задач коррекции и преобразования бинарных изображений / А.В. Афонасенко // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 8. – С. 122–126.
3. Бовырин А.В. Основные цветовые модели, представление изображения, базовые операции над изображениями : [лекция] /

А.В. Бовырин. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2013. – 14 с.

4. Кокин А.В. Концептуальные основы криминалистического исследования нарезного огнестрельного оружия по следам на пулях : [монография] / А.В. Кокин. – М., 2013. – 191 с.
5. Селезнёв Е.П. Способы распознавания оружия по предварительно обработанным цифровым изображениям следов на пулях и гильзах / Е.П. Селезнёв, Н.Г. Макаренко, М.В. Федоренко // Известия Саратовского университета. Серия Экономика. Управление. Право. – Ч. 2. – 2012. – Вып. 3. – С. 58–60.
6. Судебная баллистика и судебно-баллистическая экспертиза : [учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Судебная экспертиза»] / А.В. Кокин, К.В. Ярмак. – М. : ЮНИТИ-ДАНА: Закон и Право, 2015. – 350 с.
7. Томпсон Р. Идентификация по следам на пулях с использованием измерения топографии микронеоднородностей и корреляции. Объединение микроскопии статистических методов / Р. Томпсон, В. Чу, Дж. Сонг // Известия Саратовского университета. Серия «Экономика. Управление. Право». – Ч. 2. – 2012. – Вып. 3. – С. 58–60.
8. Федоренко В.А. Актуальные проблемы судебной баллистики : [монография] / В.А. Федоренко. – М. : Издательство «Юрлитинформ», 2011. – 208 с.
9. Федоренко В.А. Выделение индивидуальных признаков на цифровых изображениях следов бойков / В.А. Федоренко, М.В. Корнилов // Известия Саратовского университета. Серия «Экономика. Управление. Право». – Ч. 2. – 2014. – Вып. 1. – С. 181–186.
10. Федоренко В.А. Повышение эффективности работы баллистических идентификационных систем за счет применения растровой электронной микроскопии и цифровых технологий / В.А. Федоренко, М.В. Корнилов, Е.В. Сидак // Судебная экспертиза. – 2012. – № 3 (31). – С. 70–79.

#### **Бондарь В. С. Пути оптимизации информационно-аналитического обеспечения проведения судебно-баллистических экспертиз**

**Аннотация.** Статья посвящена определению путей оптимизации информационно-аналитического обеспечения проведения судебно-баллистических экспертиз. Автор предлагает комплекс современных методов анализа, а также другие пути, которые должны способствовать созданию полностью автоматической системы судебно-баллистической идентификации, способной решать аналитические задачи.

**Ключевые слова:** анализ, автоматизированная баллистическая идентификационная система, база данных, информация, идентификация, информационно-аналитическое обеспечение, криминалистическая деятельность, контурный анализ.

#### **Bondar V. Ways to optimize the information and analytical support of the forensic ballistic tests**

**Summary.** The article is devoted to the ways of optimizing the information and analytical support of forensic ballistic examination. The author offers a range of modern analysis methods and other ways which should facilitate the creation of a fully automatic system forensic ballistic identification that can solve analytical challenges.

**Key words:** analysis, automated ballistic identification system, database, information identification, information and analytical support, forensic activities and profile analysis.