



УДК 343.98:623.4

[https://doi.org/10.52058/3041-1793-2025-10\(15\)-599-611](https://doi.org/10.52058/3041-1793-2025-10(15)-599-611)

**Гусак Андрій Петрович** доктор юридичних наук, доцент, доцент кафедри кримінального правосуддя та правоохоронної діяльності Волинського національного університету імені Лесі Українки, м. Луцьк, <https://orcid.org/0000-0002-2142-5193>

## КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО СУДОВО-БАЛІСТИЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ ЧЕРЕЗ ІНТЕГРАЦІЮ ТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДІВ І ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Анотація.** У статті досліджено сучасний стан та перспективи розвитку судово-балістичних експертиз у контексті інтеграції традиційних методів і цифрових технологій. В умовах зростання кількості злочинів із використанням вогнепальної зброї та ускладнення її конструкцій актуалізується потреба у вдосконаленні методів дослідження, що забезпечують об'єктивність, швидкість та відтворюваність результатів. Традиційні підходи, такі як візуальний і мікроскопічний аналіз куль і гільз, залишаються фундаментом експертної практики, проте їхні можливості обмежені суб'єктивністю та часовими витратами. Дедалі більшого значення набувають цифрові інструменти – тривимірне моделювання, комп'ютерна томографія, автоматизовані бази даних IBIS/NIBIN, алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту. Мета роботи полягає у розробці та обґрунтуванні комплексного підходу до судово-балістичних експертиз, що поєднає перевірені часом методи з інноваційними цифровими технологіями. Результати дослідження демонструють, що застосування 3D-моделювання забезпечує реконструкцію траєкторій пострілу й підвищує точність визначення індивідуальних ознак, а алгоритми штучного інтелекту сприяють стандартизації висновків і зменшенню впливу людського чинника. Приклади з міжнародної практики (США, ЄС, INTERPOL) підтверджують ефективність автоматизованих мережових рішень, тоді як в Україні поки переважають класичні методи із поступовим упровадженням цифрових технологій. У висновках підкреслюється доцільність комплексного підходу, що забезпечує підвищення точності, об'єктивності та швидкості експертних досліджень. Перспективи розвитку пов'язуються зі стандартизацією цифрових методів, створенням національних балістичних баз даних та підготовкою експертів нового покоління.

**Ключові слова:** судово-балістична експертиза, вогнепальна зброя, мікроскопічний аналіз, 3D-моделювання, автоматизовані бази даних, штучний інтелект, криміналістика.

**Husak Andrii Petrovych** Doctor of Law, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Criminal Justice and Law Enforcement, Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk, <https://orcid.org/0000-0002-2142-5193>

## **A COMPREHENSIVE APPROACH TO FORENSIC BALLISTICS THROUGH THE INTEGRATION OF TRADITIONAL METHODS AND DIGITAL TECHNOLOGIES**

**Abstract.** The article examines the transformation of forensic ballistic examinations under the influence of digitalization processes. Firearms-related crimes require a high degree of evidence reliability, and traditional methods—visual inspection, microscopic comparison, and trace analysis—remain essential. However, they are increasingly complemented by digital technologies that provide higher precision, reproducibility, and speed of analysis.

The purpose of this study is to develop and justify a comprehensive approach to forensic ballistic examinations that integrates conventional methods with modern digital tools. The research focuses on creating a methodology capable of combining the accumulated experience of experts with the analytical capabilities of computer modeling, 3D scanning, automated databases, and artificial intelligence algorithms.

The study emphasizes the advantages of integration: three-dimensional modeling enables spatial reconstruction of bullet trajectories and wound channels; computerized recognition algorithms improve the objectivity of comparisons; automated databases such as IBIS and NIBIN significantly reduce the time needed for identification; AI-based solutions demonstrate high accuracy in recognizing individual ballistic marks. Practical examples from Ukraine, the United States, and the European Union illustrate both the progress achieved and the challenges of interoperability, standardization, and training of specialists. A comparative analysis of Ukrainian and international practice highlights that while classical approaches still dominate in national expert institutions, global trends are shifting toward large-scale institutionalization of automated and digital systems.

The findings confirm the expediency of combining traditional and digital approaches in forensic ballistics. Such integration reduces subjectivity, accelerates research, and enhances the transparency and reproducibility of expert conclusions. The perspectives for further development include the standardization of digital methods, the creation of national ballistic databases integrated with international networks, and the training of a new generation of experts capable of operating at the intersection of classical forensic science and advanced technologies.

**Keywords:** forensic ballistics, firearms, microscopic analysis, 3D modeling, automated databases, artificial intelligence, criminology.

**Постановка проблеми.** Судово-балістичні експертизи посідають важливе місце у кримінальному провадженні, оскільки забезпечують ідентифіка-



цію зброї та боєприпасів, визначення механізму пострілу й реконструкцію обставин події. Результати таких досліджень формують основу доказової бази, яка використовується в суді для підтвердження або спростування слідчих версій. Їх значення особливо зростає у провадженнях, де застосування вогнепальної зброї безпосередньо впливає на кваліфікацію діяння та визначення міри відповідальності.

Водночас сучасна злочинність характеризується зростанням кількості випадків використання зброї та ускладненням її конструкцій, зокрема поширенням модифікованих і саморобних зразків. Це створює додаткові виклики для експертів і потребує вдосконалення методів дослідження, здатних забезпечити достатню точність, швидкість і відтворюваність результатів [16].

Сучасні тенденції злочинності свідчать про постійне зростання кількості злочинів із використанням вогнепальної зброї. При цьому ускладнення конструкцій сучасних зразків, активне поширення модифікованих чи перероблених видів зброї та використання спеціальних боєприпасів створюють додаткові виклики для експертів. У цих умовах застосування лише традиційних підходів, таких як візуальний огляд або мікроскопічне порівняння куль і гільз, не завжди забезпечує необхідний рівень точності та швидкості. Обмеження зумовлені як суб'єктивністю оцінок експерта, так і значними часовими витратами на аналіз великої кількості об'єктів.

У цьому контексті дедалі більшого значення набуває використання цифрових технологій, які дозволяють підвищити об'єктивність та відтворюваність результатів. Особливу увагу дослідники приділяють тривимірній реконструкції, що забезпечує високоточний морфометричний аналіз вогнепальних ушкоджень і відтворення траєкторій пострілів. Залучення інструментів 3D-моделювання у поєднанні з класичними методами створює умови для комплексного підходу, що відповідає сучасним потребам криміналістики та підвищує довіру суду до висновків експертизи

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Міжнародна практика підтверджує високий потенціал цифрових технологій у судово-балістичних дослідженнях. Франческо Сесса узагальнив досвід застосування штучного інтелекту для аналізу вогнепальних поранень, наголосивши на його ролі у підвищенні відтворюваності результатів [13, с.112-130]. Дослідження Габріеля Кардима продемонструвало ефективність архітектур YOLOv8 і R-CNN для автоматичного розпізнавання мікрослідів на кулях [4, с.210-223].

Окремим викликом є проблема інтероперабельності під час використання 3D-сканування поверхонь куль і гільз. Жан Де Кіндер і Мішель Бонфанті запропонували формат X3P, що мінімізує вплив зовнішніх факторів і полегшує міжлабораторний обмін [6, с.85-93]. Досвід інтеграції IBIS і NIBIN підтверджує ефективність автоматизованих баз даних для пошуку збігів у великих масивах доказового матеріалу [9].

У науковому дискурсі чітко простежуються два напрями: в Україні основну увагу приділяють застосуванню 3D-моделювання для реконструкції реальних ушкоджень, тоді як міжнародні дослідження акцентують на автоматизації аналізу й використанні штучного інтелекту для стандартизації та підвищення об'єктивності балістичних експертиз.

**Мета статті** – розробка комплексного підходу до проведення судово-балістичних експертиз, що поєднує традиційні методи з сучасними цифровими технологіями.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктами судово-балістичних експертиз виступають зброя, боєприпаси та сліди їх застосування. Традиційні методи – візуальний огляд, мікроскопія й трасологічні порівняння – дозволяють встановлювати тотожність і механізм пострілу, але вимагають значного досвіду експерта й часто залежать від суб'єктивної інтерпретації. Сучасні цифрові технології доповнюють класичні: 3D-сканування створює точні моделі куль і гільз, комп'ютерна томографія дозволяє досліджувати внутрішню структуру, програмне моделювання відтворює траєкторії, а алгоритми штучного інтелекту забезпечують швидшу ідентифікацію. Поєднання якісного опису з кількісним аналізом, а також міждисциплінарний підхід забезпечують більшу об'єктивність і надійність результатів.

Візуальний та порівняльний аналіз куль і гільз є базовим методом судово-балістичних експертиз. Його основа – порівняльний мікроскоп, що дозволяє одночасно спостерігати поверхні контрольного й досліджуваного об'єктів та зіставляти характерні сліди ударника, затвора чи екстрактора. Метод забезпечує виявлення як класових ознак певного типу зброї, так і індивідуальних міток, пов'язаних із виробничими чи експлуатаційними особливостями [10].

Дослідження класових ознак охоплює визначення калібру, кількості та напрямку нарізів ствола, що дає змогу одразу відсіяти невідповідні зразки. На наступному етапі аналізуються індивідуальні мікросліди, які формують унікальний «балістичний відбиток» конкретної зброї [3, с.130-140].

Масштабний експеримент Ames Laboratory у співпраці з ФБР, що охопив понад 20 тисяч порівнянь куль і гільз, підтвердив високу надійність методу: рівень хибнопозитивних висновків становив менше 1 %, а хибнонегативних – до 3 % [5, с.32-43]. Це свідчить про відносну стабільність та відтворюваність результатів навіть за умови залучення великого обсягу даних.

Важливим аспектом є стандартизація: еталонні кулі та гільзи використовуються для калібрування обладнання і забезпечення відтворюваності результатів у різних лабораторіях [15].

Попри поширення цифрових технологій, порівняльний аналіз куль і гільз залишається основним методом, що використовується перед застосуванням IBIS чи 3D-сканування. У цьому процесі ключову роль відіграють балістичні мікроскопи, які завдяки здвоєній оптичній системі дозволяють



досліджувати й порівнювати контрольні та експериментальні об'єкти. У практиці все ще застосовуються моделі «МСК-1» та «МС-51», що забезпечують фотофіксацію результатів [23, с.395-398].

Балістичні мікроскопи широко застосовуються у вітчизняних експертних установах, зокрема в центрах МВС та НДЕКЦ. Їх сучасні комплектації оснащені цифровими камерами й програмним забезпеченням для документування та архівування результатів, що підвищує точність і надійність експертних висновків [19].

Історичний розвиток методики підтверджується ще роботами кінця XIX – початку XX століття. Так, судовий медик П. Єзерих одним із перших застосував мікроскоп для фотографування куль, створивши спеціальні затиски та бокову систему фіксації, що стало важливим кроком у розвитку судової балістики [18, с.385].

Сучасні експертні підрозділи поступово переходять на передові оптичні системи. Зокрема, у 2020 році низка лабораторій в Україні впровадила стереомікроскоп Leica S9i, що завдяки високій роздільній здатності та збільшеній глибині різкості дозволяє детально вивчати мікросліди на кулях і гільзах [24].

Балістичні мікроскопи залишаються ключовим інструментом судово-балістичних експертиз, оскільки поєднують перевірені практикою методи з новітніми технологіями, що підвищує точність та відтворюваність результатів. Класичні підходи – візуальний огляд, порівняльний аналіз і трасологічні дослідження – зберігають довіру завдяки багаторічному використанню в судовій практиці. Саме вони забезпечують можливість виявлення індивідуальних ознак зброї з високою надійністю, підтверженою міжнародним досвідом [10]. У роботах сучасних українських криміналістів наголошується, що поєднання огляду, опису й мікроскопії дозволяє швидко виокремити ключові ознаки зброї та боєприпасів і сформулювати попередні висновки ще на етапі досудового розслідування [27].

До сильних сторін належить і відносна простота застосування цих методів. Для базового аналізу достатньо стандартного обладнання, яке є в більшості експертних установ. Крім того, класичні методики не потребують складного програмного забезпечення й можуть бути використані в умовах обмежених ресурсів, що особливо актуально для регіональних лабораторій [21].

Традиційні методи мають і обмеження, зокрема залежність від суб'єктивної оцінки експерта. Візуальне зіставлення слідів потребує значного досвіду та може супроводжуватися помилками. Експеримент Ames Laboratory і ФБР підтвердив наявність як хибнопозитивних, так і хибнонегативних результатів, хоча їхня частка залишалася низькою [5, с.32-43].

Ще одне обмеження класичних методів пов'язане з часовими витратами. Підготовка об'єктів, налаштування обладнання та багаторазові повтори роблять мікроскопічні дослідження тривалими, особливо при великій

кількості зразків. Крім того, відсутність кількісної оцінки подібності ускладнює стандартизацію результатів на міжнародному рівні [22].

Класичні методи судово-балістичних досліджень залишаються ефективними та доступними, однак потребують доповнення цифровими технологіями для зменшення суб'єктивності, скорочення часу й підвищення відтворюваності результатів. Одним із таких напрямів є тривимірне моделювання, яке на основі фотограмметрії та комп'ютерної томографії дозволяє візуалізувати й кількісно оцінювати траєкторію кулі, зокрема її напрям і кут входу та виходу [16].

Дослідження підтвердили, що вимірювання параметрів ранового каналу у 3D-моделі є точнішими порівняно з традиційними методами, а результати статистично узгоджуються для більшості показників. Інша робота продемонструвала ефективність просторового моделювання для аналізу ушкоджень від автоматичної зброї калібру 5,45 мм, де було встановлено прямі кореляції між швидкістю кулі, її енергією та діаметром вхідної рани [17, с.53-59].

Окремий напрям становить використання VR-середовищ із технологіями автоматичного розпізнавання об'єктів, що дозволяє прискорити аналіз і зменшити суб'єктивність експерта [14].

3D-реконструкція використовується не лише для точного відтворення траєкторій, а й для створення візуалізацій, придатних для судового процесу. Паралельно розвиваються алгоритми комп'ютерного розпізнавання, які замінюють традиційне візуальне порівняння автоматизованою цифровою обробкою зображень. Це підвищує швидкість та об'єктивність ідентифікації зброї за унікальними мікрослідами на кулях і гільзах. Важливим етапом стала поява системи IBIS, що функціонує більш ніж у 60 країнах та забезпечує цифрове сканування і пошук збігів у масштабних базах даних [2, с.67-88]. Подальший розвиток пов'язаний із 3D-скануванням поверхонь куль у форматі X3P та розробкою алгоритмів оцінки подібності, зокрема функції крос-кореляції [15].

Суттєвий прогрес забезпечують алгоритми глибоких нейронних мереж. Г. Кардим продемонстрував, що архітектури YOLOv8 та R-CNN здатні автоматично розпізнавати індивідуальні ознаки куль із точністю понад 95 % [4, с.210-223]. Подібні результати узагальнив Ф. Сесса, підкресливши, що штучний інтелект може стати основою стандартизації експертних висновків [13, с.112-130].

Практичне впровадження алгоритмів розпізнавання обмежене потребою у великих навчальних вибірках і стандартизованих даних, проте автоматизація аналізу слідів уже стала одним із ключових напрямів судової балістики. Поєднання системи IBIS з технологіями штучного інтелекту формує основу глобальних баз даних нового покоління. Сама IBIS, розроблена канадською компанією Forensic Technology, дозволяє сканувати кулі та гільзи у високій роздільній здатності й порівнювати їх із мільйонами записів у цифровому форматі, значно прискорюючи ідентифікацію [2, с.67-88].



Практичні дослідження підтвердили ефективність IBIS навіть у випадках, коли індивідуальні мітки частково змінювалися після серії пострілів, що свідчить про придатність системи для складних кримінальних справ [6, с.85-93].

У США IBIS інтегровано в NIBIN (National Integrated Ballistic Information Network), який об'єднує дані з різних регіонів і дає змогу простежувати злочинні мережі. За даними ФБР, застосування NIBIN сприяло розкриттю тисяч злочинів і формуванню профілів серійних правопорушників [9].

Попри ефективність, IBIS має обмеження: система лише пропонує перелік можливих збігів, тоді як остаточне рішення приймає експерт. Це підкреслює потребу поєднання цифрової автоматизації з професійними знаннями. В Україні створення національної балістичної бази та її інтеграція з міжнародними системами розглядається як стратегічний крок для підвищення ефективності розслідувань і налагодження швидкого обміну даними між експертними установами [27, с.245-249].

У сучасній експертній практиці поширюються комбіновані судово-балістичні експертизи, що поєднують класичні методи з цифровими технологіями. Такий підхід знижує суб'єктивність оцінок і водночас забезпечує перевірку результатів. Наприклад, порівняльний мікроскопічний аналіз куль і гільз доповнюється 3D-скануванням, яке дозволяє точніше визначати індивідуальні ознаки [15].

Дослідження у Нідерландах підтвердили, що поєднання трасологічного аналізу з цифровою обробкою тривимірних моделей дозволяє ідентифікувати кулі навіть у випадках суттєвих деформацій. Застосування алгоритмів поверхневого порівняння разом із візуальною оцінкою експерта підвищує точність ідентифікації майже на 20 % [6, с.85-93].

У США результати класичних досліджень перевіряються через систему NIBIN, що дозволяє виявляти збіги між регіональними базами та формувати ширшу доказову базу [9].

В Україні комбіновані підходи застосовуються у підрозділах МВС, де мікроскопічний аналіз поєднується з цифровою фотофіксацією й моделюванням траєкторій, що дає змогу створювати наочні візуалізації для судового процесу [27, с.243-247].

Інтеграція традиційних і цифрових методів формує новий стандарт судово-балістичних експертиз. Поєднання мікроскопічного аналізу з автоматизованими алгоритмами підвищує точність, об'єктивність і швидкість досліджень, зменшуючи вплив суб'єктивного чинника та підтверджуючи висновки експерта цифровими даними [2, с.67-88].

Суттєвою перевагою є зростання точності. Алгоритми тривимірного сканування здатні відтворювати поверхню куль і гільз із мікронною деталізацією, що у поєднанні з досвідом експерта дозволяє досягати ідентифікаційної надійності до 99 % [15].

Цифрові системи забезпечують стандартизовані кількісні показники, придатні для перевірки в різних лабораторіях. Приклади поєднання IBIS з

класичними методами показують, що автоматизоване порівняння надає додаткові обґрунтовані докази для суду [6, с.85-93].

Швидкість також зростає: тоді як традиційний аналіз сотень об'єктів може тривати тижнями, NIBIN забезпечує пошук збігів протягом кількох годин після завантаження даних [9].

В Україні класичні методи залишаються основою роботи експертних центрів МВС, проте цифрові технології поступово інтегруються у практику, зокрема у формі просторового моделювання та фотофіксації [20; 26].

Синергія традиційних і цифрових методів задає новий стандарт судово-балістичної експертизи, де надійність перевірених практик поєднується з можливостями цифровізації. В Україні це проявляється у суміжних сферах, зокрема в судово-медичній реконструкції вогнепальних ушкоджень: фотограмметрія та 3D-моделювання забезпечують точні вимірювання траєкторії та морфометрії ранового каналу, зміцнюючи доказову базу кримінальних проваджень [16; 17, с.53-59].

У США практику визначає мережа NIBIN, яку адмініструє ATF. Це національна система автоматизованої балістичної ідентифікації, що з кінця 1990-х об'єднує цифрові зображення куль і гільз із різних штатів та забезпечує швидке виявлення зв'язків між злочинами [9].

У Європі практику координує ENFSI, публікуючи серію Best Practice Manuals, що встановлюють стандарти огляду місця події та аналізу слідів пострілу з використанням SEM/EDS та хімографічних методів. Ці документи забезпечують уніфікацію підходів, контроль якості та професійну підготовку персоналу [8; 7].

Для транскордонного обміну балістичними даними ключову роль відіграє мережа INTERPOL IBIN, яка містить понад 1,8 млн записів і забезпечує централізоване порівняння «балістичних відбитків» між країнами-учасницями. Це єдина глобальна система такого масштабу [11].

Технологічний тренд у США та ЄС зміщується до використання 3D-топографії поверхонь куль і гільз та відкритих стандартів даних (X3P), що забезпечує інтероперабельність і кількісну оцінку подібності. У звітах NIJ/NIST і міжлабораторних проєктах, зокрема за участі Netherlands Forensic Institute, відзначається перехід від класичної мікроскопії до «віртуальної мікроскопії» та алгоритмів на зразок Congruent Matching Cells, які дозволяють обчислювати показники надійності збігів [1; 12].

В Україні в експертній практиці НДЕКЦ досі домінують класичні методи, тоді як цифрові технології частіше застосовуються у суміжних сферах, зокрема в судовій медицині. Натомість у США та країнах ЄС активно функціонують автоматизовані мережі NIBIN/IBIN і стандартизована 3D-топографія, що супроводжується міжлабораторним обміном та уніфікацією процедур (ENFSI). Судова практика підтверджує ефективність інтеграції методів: у справі подій Революції Гідності 2014 року поєднання мікроскопії та цифрової фотофіксації дало змогу ідентифікувати конкретні зразки зброї [25].



Значущим прецедентом стала справа «Сакко і Ванцетті» (США, 1920-ті), де вперше використали порівняльний мікроскоп для встановлення належності кулі конкретному револьверу. Цей випадок започаткував сучасний етап розвитку судової балістики [10].

Більш сучасний приклад – серійні вбивства у Чикаго на початку 2000-х років, де база NIBIN дала змогу об'єднати окремі злочини в єдину серію та встановити підозрюваного. Суд визнав результати балістичної експертизи вирішальним доказом [9].

У Європі прикладом є справа в Нідерландах щодо саморобної зброї: традиційні методи не дозволили встановити тотожність куль, однак 3D-сканування та алгоритми автоматичного порівняння забезпечили ідентифікацію зброї [6, с.85-93].

Наведені приклади підтверджують, що інтеграція класичних і цифрових методів формує надійну доказову базу та підвищує довіру суду до висновків експертів. Водночас залишається правова проблема допустимості цифрових доказів: у міжнародних оглядах зазначається, що суди не мають єдиної позиції щодо автоматизованих висновків на основі штучного інтелекту, тому вони здебільшого розглядаються як допоміжні й потребують підтвердження експертом [12]. Це вказує на необхідність удосконалення правових механізмів регламентації статусу цифрових даних та їх процесуальної сили.

Сукупність цих труднощів свідчить, що ефективне впровадження цифрових технологій у судово-балістичні експертизи потребує не лише технічних інновацій, але й комплексного вирішення організаційних, фінансових та правових питань, що має відбуватися синхронно на національному й міжнародному рівнях.

**Висновки.** Проведене дослідження засвідчило ефективність комплексного підходу до судово-балістичних експертиз, що поєднує традиційні методи з цифровими технологіями. Класичні прийоми, зокрема порівняльна мікроскопія та трасологічний аналіз, залишаються фундаментом експертної практики, проте їхній потенціал істотно зростає у поєднанні з тривимірним моделюванням, автоматизованими базами даних та алгоритмами штучного інтелекту. Така інтеграція забезпечує вищу точність, об'єктивність і швидкість досліджень, а також підвищує довіру суду до експертних висновків.

Подальший прогрес у цій сфері пов'язаний зі стандартизацією цифрових методик, гармонізацією процедур між лабораторіями, створенням національних балістичних баз та їх інтеграцією з міжнародними мережами. Важливою умовою є також підготовка експертів нового покоління, здатних працювати на стику криміналістики й сучасних інформаційних технологій. Реалізація цих завдань визначатиме якість судово-балістичних експертиз у майбутньому та сприятиме зміцненню ефективності кримінального правосуддя.

**Література:**

1. A Century of Ballistics Comparison Giving Way to Virtual 3D Methods. National Institute of Justice. URL: <https://nij.ojp.gov/topics/articles/century-ballistics-comparison-giving-way-virtual-3d-methods> (date of access: 10.09.2025).
2. Biasotti A. A., Murdock J. E. The Scientific Basis of Firearms and Toolmark Identification. *AFTE Journal*. 2017. Vol. 49, № 2. P. 67-88.
3. Bunch S. G. Consecutive matching striae (CMS): Its definition, study and application in the discipline of firearms identification. *AFTE Journal*. 2000. Vol. 32, № 3. P. 130-140.
4. Cardim G. P. Artificial Intelligence for Forensic Image Analysis in Bullet Identification. *AI*. 2025. Vol. 3, № 3. P. 16. DOI: <https://www.mdpi.com/2813-477X/3/3/16>.
5. Chu W., Song J., Vorburger T. V., Yen J., Ballou S., Bachrach B. Pilot study of automated bullet signature identification based on topography measurements and correlations. *Journal of Forensic Sciences*. 2010. Vol. 55, № 2. P. 341-347. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2009.01266.x. URL: <https://www.nist.gov/publications/pilot-study-automated-bullet-signature-identification-based-topography-measurements-and> (date of access: 10.09.2025).
6. De Kinder J., Bonfanti M. Automated comparisons of bullet striations based on 3D topography. *Forensic Science International*. 1999. Vol. 101, № 2. P. 85-93. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073898002126>.
7. ENFSI. Best Practice Manual for Chemographic Methods in Gunshot Residue Analysis. 2015. URL: [https://enfsi.eu/.../chemographic\\_methods\\_in\\_gunshot\\_residue\\_analysis\\_0.pdf](https://enfsi.eu/.../chemographic_methods_in_gunshot_residue_analysis_0.pdf) (дата звернення: 09.09.2025).
8. ENFSI. Best Practice Manual for the Forensic Examination of Inorganic Gunshot Residue by SEM/EDS. Issue 01. The Hague: European Network of Forensic Science Institutes, 2022. 42 p. URL: <https://enfsi.eu/wp-content/uploads/2022/12/3.-ENFSI-GSR-BPM-02-1.pdf> (дата звернення: 09.09.2025).
9. Fact Sheet – National Integrated Ballistic Information Network. Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives. 2024. URL: <https://www.atf.gov/resource-center/fact-sheet/2024-national-integrated-ballistic-information-network> (дата звернення: 09.09.2025).
10. Goddard C. Scientific identification of firearms. New York: John Wiley & Sons, 1935. 248 p.
11. INTERPOL. INTERPOL Ballistic Information Network (IBIN). URL: <https://www.interpol.int/en/Crimes/Firearms-trafficking/INTERPOL-Ballistic-Information-Network> (дата звернення: 09.09.2025).
12. Mattijssen E., Kerkhoff W., Hermsen R. Interpol review of forensic firearm examination 2019-2022. *Forensic Science International: Synergy*. 2023. Vol. 4. URL: [https://www.researchgate.net/publication/366299834\\_Interpol\\_review\\_of\\_forensic\\_firearm\\_examination\\_2019-2022](https://www.researchgate.net/publication/366299834_Interpol_review_of_forensic_firearm_examination_2019-2022)
13. Sessa F., Chisari M., Esposito M., Guardo E., Di Mauro L., Salerno M., Pomara C. Advancing Diagnostic Tools in Forensic Science: The Role of Artificial Intelligence in Gunshot Wound Investigation – A Systematic Review. *MDPI*. URL: <https://www.mdpi.com/2673-6756/5/3/30> (дата звернення: 09.09.2025).
14. Zappalà A., Guarnera L., Rinaldi V., Livatino S., Battiato S. Enhancing Crime Scene Investigations through Virtual Reality and Deep Learning Techniques. 2024. arXiv:2409.18458. URL: <https://arxiv.org/abs/2409.18458>.
15. Zheng X., Soons J., Vorburger T. V., Song J., Renegar T., Thompson R. Applications of surface metrology in firearm identification. *Measurement Science and Technology*. 2014. Vol. 25, № 1. P. 015201. URL: [https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=914401](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=914401). (дата звернення: 09.09.2025)..
16. Zmiievska Y., Savka I. Three-Dimensional Modeling of Firearm Injuries in Forensic Medicine. *Galician Medical Journal*. 2024. Vol. 31, № 4. e-GMJ2024-A28. DOI: <https://doi.org/10.21802/e-GMJ2024-A28>.



17. Zmiyevska Y.G., Tryubner K., Savka I.G. Improvement of forensic medical diagnosis of projectile type injuries... *Medicni Perspektivi*. 2024. Vol. 29, № 1. P. 53-59. DOI: <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2024.1.300596>.

18. Авдієєва А. С. Історія становлення судової медицини в Україні. Київ: Академія СБУ, 2020. 87 с. URL: <https://academysps.edu.ua/wp-content/uploads/2020/04/Avdieieva-A.-S..pdf>.

19. Застосування мікроскопів у криміналістиці. *Життя – Новини Рівного та області. Рівне Вечірнє*. URL: <https://rivnepost.rv.ua/news/zastosuvannya-mikroskopiv-u-kriminalistitsi> (дата звернення: 09.09.2025).

20. Київський НДЕКЦ МВС. Призначення експертиз. URL: <https://ndekc.kiev.ua> (дата звернення: 09.09.2025).

21. Мельник Р. В. Теоретичні та практичні аспекти криміналістичного дослідження об'єктів, перероблених у вогнепальну зброю. Монографія. К. : «Центр учбової літератури», 2017. 186 с. URL: [https://pravo-izdat.com.ua/image/data/Files/291/1-9.pdf?srsId=AfmBOopRCZZKwCRFUAM68ICobF0MSCWjXwMnyZARdbWb0E7S2FekSOU\\_](https://pravo-izdat.com.ua/image/data/Files/291/1-9.pdf?srsId=AfmBOopRCZZKwCRFUAM68ICobF0MSCWjXwMnyZARdbWb0E7S2FekSOU_)

22. Пясковський В. В., Черноус Ю. М., Самодин А. В. Криміналістика: підручник. Київ: Право, 2020. 752 с. URL: [https://pravo-izdat.com.ua/image/data/Files/816/3\\_Kriminalistika\\_pidruchnik\\_2020\\_vnutri.pdf?srsId=AfmBOoo1lXoBkVacz0gFtfEg5W06H8mnaepg\\_YVKziWrMgYezmTYfVR](https://pravo-izdat.com.ua/image/data/Files/816/3_Kriminalistika_pidruchnik_2020_vnutri.pdf?srsId=AfmBOoo1lXoBkVacz0gFtfEg5W06H8mnaepg_YVKziWrMgYezmTYfVR)

23. Сенченко Н. М., Пророченко, В. В. Криміналістичне дослідження слідів пострілу та їх значення у розкритті кримінальних правопорушень. *Порівняльно-аналітичне право*. 2019. № 5. С. 395-398. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0390/2019.5.102>

24. Стереомікроскоп Leica S9i - №1 для криміналістичних лабораторій– АЛТ Україна ЛТД. АЛТ Україна ЛТД. URL: [https://alt.ua/blog/stereomikroskop-leica-s9i-dlya-kriminalistichnih-laboratorij?utm\\_source=chatgpt.com](https://alt.ua/blog/stereomikroskop-leica-s9i-dlya-kriminalistichnih-laboratorij?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 10.09.2025).

25. Тищенко С. О. Особливості використання спеціальних знань під час розслідування масових заворушень. *Науковий вісник Дніпровського державного університету внутрішніх справ*, 2023, № 1 (122), с. 258-263.

26. Харківський НДЕКЦ МВС. Експертна спеціальність 3.1 «Балістичне дослідження вогнепальної зброї та бойових припасів до неї». URL: <https://kharkiv-ndekc.mvs.gov.ua> (дата звернення: 09.09.2025).

27. Шепітько В. Ю. (ред.). Криміналістика: підручник: у 2 т. 5-те вид., перероб. і доповн. Київ: Ін Юре, 2016. Т. 1. 456 с. Т. 2. 328 с

### References:

1. National Institute of Justice. (2022). *A century of ballistics comparison giving way to virtual 3D methods*. Retrieved from <https://nij.ojp.gov/topics/articles/century-ballistics-comparison-giving-way-virtual-3d-methods> (accessed: 10.09.2025) [in English].

2. Biasotti, A.A., & Murdock, J.E. (2017). The scientific basis of firearms and toolmark identification. *AFTE Journal*, 49(2), 67–88 [in English].

3. Bunch, S.G. (2000). Consecutive matching striae (CMS): Its definition, study and application in the discipline of firearms identification. *AFTE Journal*, 32(3), 130–140 [in English].

4. Cardim, G.P. (2025). Artificial intelligence for forensic image analysis in bullet identification. *AI*, 3(3), 16. <https://www.mdpi.com/2813-477X/3/3/16> [in English].

5. Chu, W., Song, J., Vorburgen, T.V., Yen, J., Ballou, S., & Bachrach, B. (2010). Pilot study of automated bullet signature identification based on topography measurements and correlations. *Journal of Forensic Sciences*, 55(2), 341–347. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01266.x>. Retrieved from <https://www.nist.gov/publications/pilot-study-automated-bullet-signature-identification-based-topography-measurements-and> (accessed: 10.09.2025) [in English].

6. De Kinder, J., & Bonfanti, M. (1999). Automated comparisons of bullet striations based on 3D topography. *Forensic Science International*, 101(2), 85–93. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073898002126> [in English].
7. European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI). (2015). *Best practice manual for chemographic methods in gunshot residue analysis*. Retrieved from [https://enfsi.eu/.../chemographic\\_methods\\_in\\_gunshot\\_residue\\_analysis\\_0.pdf](https://enfsi.eu/.../chemographic_methods_in_gunshot_residue_analysis_0.pdf) (accessed: 09.09.2025) [in English].
8. European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI). (2022). *Best practice manual for the forensic examination of inorganic gunshot residue by SEM/EDS*. Issue 01. The Hague: ENFSI, 42 p. Retrieved from <https://enfsi.eu/wp-content/uploads/2022/12/3.-ENFSI-GSR-BPM-02-1.pdf> (accessed: 09.09.2025) [in English].
9. Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives (ATF). (2024). *Fact sheet – National Integrated Ballistic Information Network*. Retrieved from <https://www.atf.gov/resource-center/fact-sheet/2024-national-integrated-ballistic-information-network> (accessed: 09.09.2025) [in English].
10. Goddard, C. (1935). *Scientific identification of firearms*. New York: John Wiley & Sons, 248 p. [in English].
11. INTERPOL. (2025). *INTERPOL Ballistic Information Network (IBIN)*. Retrieved from <https://www.interpol.int/en/Crimes/Firearms-trafficking/INTERPOL-Ballistic-Information-Network> (accessed: 09.09.2025) [in English].
12. Mattijssen, E., Kerkhoff, W., & Hermsen, R. (2023). Interpol review of forensic firearm examination 2019–2022. *Forensic Science International: Synergy*, 4, 100258. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/366299834\\_Interpol\\_review\\_of\\_forensic\\_firearm\\_examination\\_2019-2022](https://www.researchgate.net/publication/366299834_Interpol_review_of_forensic_firearm_examination_2019-2022) [in English].
13. Sessa, F., Chisari, M., Esposito, M., Guardo, E., Di Mauro, L., Salerno, M., & Pomara, C. (2023). Advancing diagnostic tools in forensic science: The role of artificial intelligence in gunshot wound investigation – a systematic review. *Diagnostics*, 5(3), 30. <https://www.mdpi.com/2673-6756/5/3/30> (accessed: 09.09.2025) [in English].
14. Zappalà, A., Guarnera, L., Rinaldi, V., Livatino, S., & Battiato, S. (2024). Enhancing crime scene investigations through virtual reality and deep learning techniques. *arXiv preprint*, arXiv:2409.18458. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2409.18458> [in English].
15. Zheng, X., Soons, J., Vorburger, T.V., Song, J., Renegar, T., & Thompson, R. (2014). Applications of surface metrology in firearm identification. *Measurement Science and Technology*, 25(1), 015201. Retrieved from [https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=914401](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=914401) (accessed: 09.09.2025) [in English].
16. Zmiievska, Y., & Savka, I. (2024). Three-dimensional modeling of firearm injuries in forensic medicine. *Galician Medical Journal*, 31(4), e-GMJ2024-A28. <https://doi.org/10.21802/e-GMJ2024-A28> [in English].
17. Zmiyevska, Y.G., Tryubner, K., & Savka, I.G. (2024). Improvement of forensic medical diagnosis of projectile type injuries from automatic firearm chambered in 5.45 mm caliber through spatial 3D modeling. *Medicni Perspektivi*, 29(1), 53–59. <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2024.1.300596> [in English].
18. Avdieieva, A.S. (2020). *Istoriia stanovlennia sudovoi medytsyny v Ukraini* [History of forensic medicine in Ukraine]. Kyiv: Akademiia SBU, 87 p. Retrieved from <https://academysps.edu.ua/wp-content/uploads/2020/04/Avdieieva-A.-S..pdf> [in Ukrainian].
19. Zastosuvannia mikroskopiv u kryminalistytsi [Application of microscopes in criminalistics]. (2025). *Rivne Vechirnie – Rivne Evening News*. Retrieved from <https://rivnepost.rv.ua/news/zastosuvannya-mikroskopiv-u-kryminalistytsi> (accessed: 09.09.2025) [in Ukrainian].
20. Kyivskyi NDEKC MVS. (2025). Pryznachennia ekspertyz [Assignment of examinations]. Retrieved from <https://ndekc.kiev.ua> (accessed: 09.09.2025) [in Ukrainian].



21. Melnyk, R.V. (2017). *Teoretychni ta praktychni aspekty kryminalistychnoho doslidzhennia ob'ektiv, pereroblenykh u vohnepalnu zbroiu* [Theoretical and practical aspects of criminalistic research of objects converted into firearms]. Kyiv: Tsentр uchbovoi literatury, 186 p. Retrieved from <https://pravo-izdat.com.ua/image/data/Files/291/1-9.pdf> [in Ukrainian].
22. Piaskovskiy, V.V., Chornous, Yu.M., & Samodyn, A.V. (2020). *Kryminalistyka: pidruchnyk* [Criminalistics: Textbook]. Kyiv: Pravo, 752 p. Retrieved from [https://pravo-izdat.com.ua/image/data/Files/816/3\\_Kriminalistika\\_pidruchnik\\_2020\\_vnutri.pdf](https://pravo-izdat.com.ua/image/data/Files/816/3_Kriminalistika_pidruchnik_2020_vnutri.pdf) [in Ukrainian].
23. Senchenko, N.M., & Prorochenko, V.V. (2019). Kryminalistychnе doslidzhennia slidiv postrilu ta yikh znachennia u rozkrytti kryminalnykh pravoporushen [Forensic investigation of shot traces and their significance in the disclosure of criminal offenses]. *Porivnialno-analitychne pravo – Comparative-Analytical Law*, 5, 395–398. <https://doi.org/10.32782/2524-0390/2019.5.102> [in Ukrainian].
24. ALT Ukraina LTD. (2025). Stereomikroskop Leica S9i – №1 dlia kryminalistychnykh laboratorii [Stereomicroscope Leica S9i – No. 1 for forensic laboratories]. Retrieved from <https://alt.ua/blog/stereomikroskop-leica-s9i-dlya-kriminalistichnih-laboratorij> (accessed: 10.09.2025) [in Ukrainian].
25. Tishchenkova, S.O. (2023). Osoblyvosti vykorystannia spetsialnykh znan pid chas rozsliduvannia masovykh zavorushen [Features of the use of special knowledge during the investigation of mass riots]. *Naukovyi visnyk Dniprovskoho derzhavnoho universytetu vnutrishnikh sprav – Scientific Bulletin of the Dnipro State University of Internal Affairs*, 1(122), 258–263 [in Ukrainian].
26. Kharkivskiy NDEKC MVS. (2025). Ekspertna spetsialnist 3.1 «Balistychnе doslidzhennia vohnepalnoi zbroi ta boiovykh pry pasiv do nei» [Expert specialty 3.1 “Ballistic examination of firearms and ammunition for them”]. Retrieved from <https://kharkiv-ndekc.mvs.gov.ua> (accessed: 09.09.2025) [in Ukrainian].
27. Shepitko, V.Yu. (Ed.). (2016). *Kryminalistyka: pidruchnyk: u 2 t.* [Criminalistics: Textbook: in 2 vols.]. (5th ed., rev. and suppl.). Kyiv: In Yure. Vol. 1 – 456 p.; Vol. 2 – 328 p. [in Ukrainian].