

УДК 343.98:004.942

DOI <https://doi.org/10.32782/2709-9261-2025-2-14-6>**Гусак Андрій Петрович,**

доктор юридичних наук

(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2142-5193>

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ В БАЛІСТИЦІ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПОДІЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ

У статті досліджено ефективність застосування технології 3D-моделювання в судово-балістичних експертизах під час досудового розслідування злочинів, пов'язаних із використанням вогнепальної зброї. Розкрито потенціал тривимірної реконструкції для просторового відтворення обставин події, зокрема визначення траєкторії пострілу, положення потерпілого та стрільця. Здійснено порівняльний аналіз традиційних методів і сучасних цифрових підходів, окреслено методологічні та практичні переваги 3D-моделювання. Розглянуто приклади зарубіжного і вітчизняного досвіду, включаючи кейси, реалізовані з використанням віртуальної реальності. Визначено технічні, нормативні та процесуальні обмеження, які стримують широке впровадження 3D-технологій у практику досудового розслідування в Україні. Запропоновано напрями вдосконалення нормативного регулювання, підготовки кадрів і технічного забезпечення для впровадження інновацій у роботу експертних і слідчих підрозділів.

Ключові слова: 3D-моделювання, судова балістика, досудове розслідування, реконструкція подій, вогнепальна зброя, цифрові технології.

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку криміналістичної науки і практики зростає потреба в упровадженні інноваційних технологій, які дозволяють забезпечити високу точність і наочність під час відтворення обставин кримінальних правопорушень. Однією з таких технологій є 3D-моделювання, яке дедалі активніше використовується для реконструкції подій, пов'язаних із застосуванням вогнепальної зброї. Ідеться не лише про технічну можливість візуалізувати траєкторії куль, положення тіл і об'єктів у просторі, а й про здатність забезпечити більш переконливу та зрозумілу для суду реконструкцію події, що особливо важливо тоді, коли свідчення є суперечливими або фрагментарними.

Використання 3D-моделей у криміналістиці відкриває нові горизонти у сфері судової балістики, оскільки дозволяє поєднати результати експертних досліджень, дані з місця події та аналітичні висновки в єдиному цифровому середовищі. Це значно підвищує якість слідчих дій, зменшує ризик помилкових висновків і сприяє формуванню об'єктивної доказової бази. Водночас існує потреба в науковому осмисленні ефективності цієї технології, визначенні її переваг і обмежень, а також формуванні практичних рекомендацій для її впровадження у вітчизняну експертну діяльність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останні дослідження свідчать про зростання уваги науковців до впровадження 3D-моделювання у сферу судово-балістичних експертиз. Цифрові технології розглядаються як ефективний інструмент для реконструкції обставин застосування вогнепальної зброї, забезпечують просто-

рову точність і візуальну наочність. Зокрема, в Україні, у дослідженні Ю. Змієвської та співавторів проаналізовано застосування фотограмметрії та програм *3Ds Max* і *Agisoft PhotoScan* для відтворення вогнепальних поранень, що дало змогу точно встановити траєкторію кулі. У міжнародному контексті дослідження Л. Гуарнері демонструє ефективність використання віртуальної реальності в поєднанні із 3D-моделюванням для аналізу балістичних слідів, що значно підвищує рівень деталізації доказового матеріалу.

Метою статті є проведення аналізу ефективності використання 3D-моделювання в балістиці як інструменту реконструкції подій, пов'язаних із застосуванням вогнепальної зброї. У межах цієї мети поставлено кілька завдань: охарактеризувати технічні можливості сучасного 3D-моделювання в контексті судової балістики; дослідити приклади його практичного застосування в реконструкції злочинів; виявити переваги та недоліки цього методу порівняно із традиційними засобами балістичного аналізу; а також обґрунтувати перспективи й умови впровадження 3D-моделювання у вітчизняну слідчу й експертну практику.

Виклад основного матеріалу. Зарубіжна практика, зокрема у країнах Північної Америки та Західної Європи, уже демонструє широке використання тривимірного моделювання для візуалізації балістичних сценаріїв. У США, Великій Британії, Німеччині та Канаді 3D-реконструкції активно застосовуються під час судових процесів, де вони допомагають експертам, прокурорам і присяжним чітко уявити перебіг подій. Результати таких реконструкцій визнаються судами як доказовий ма-

теріал, що свідчить про високий рівень довіри до цієї технології. В Україні ж використання 3D-модельовання у криміналістиці перебуває на етапі становлення. Попри поодинокі спроби застосування тривимірних моделей у роботі окремих експертних установ, широке впровадження стримується низкою чинників: відсутністю методичних рекомендацій, обмеженістю технічного забезпечення та неналежною кваліфікацією кадрів. У зв'язку із цим постає необхідність наукового осмислення цієї проблеми та формування концептуальних підходів до впровадження 3D-модельовання у практику судово-балістичних досліджень в Україні.

Однією із ключових передумов ефективного використання 3D-модельовання в судовій балістиці є розуміння його теоретичних засад, зокрема понятійного апарату та базових принципів, на яких ґрунтується ця технологія.

Загалом 3D-модельовання – це процес створення математичного об'ємного цифрового зображення об'єкта або середовища з можливістю подальшої візуалізації, обробки й інтерактивної взаємодії з моделлю. У контексті криміналістики воно дозволяє відтворити просторову структуру місця події, зокрема й положення тіл, траєкторії куль, відстані, кути влучання тощо [1].

Базові принципи 3D-модельовання включають точне геометричне вимірювання реальних об'єктів за допомогою сканерів або фотограмметрії, побудову цифрової сцени із прив'язкою до масштабів і координат, а також інтеграцію аналітичних даних з інших джерел – зокрема й результатів трасологічних і балістичних досліджень. Важливою перевагою такого підходу є можливість не лише статичного перегляду сцени, а також її динамічного аналізу – зміни ракурсів, побудову траєкторій пострілів, симуляції пересування учасників події, що дає змогу наочно оцінити вірогідність окремої версії події [2].

Окрім того, застосування 3D-модельовання у криміналістиці потребує врахування таких принципів, як достовірність джерел даних, верифікація результатів і відповідність моделі реальній ситуації. Лише за дотримання цих умов цифрові реконструкції можуть бути використані як надійний інструмент доказування. Як зазначає Джейсон Хорсвелл, використання тривимірних технологій не має підміняти судову оцінку доказів, однак є потужним допоміжним засобом у формуванні цілісної картини події [3].

Отже, поняття та принципи 3D-модельовання в балістиці формують наукову та методичну основу для практичного застосування цієї технології у процесі реконструкції подій, пов'язаних із використанням вогнепальної зброї.

Одним із ключових чинників ефективності 3D-модельовання в судовій балістиці є технічна база, що включає спеціалізовані пристрої для збору просторових даних, а також програмне забезпечення для обробки та візуалізації цих даних. Найбільш поширеними технічними засобами є **лазерні сканери** (наприклад, FARO Focus або Leica RTC360), які дозволяють створювати точні тривимірні моделі місця події з високою роздільною здатністю. Такі пристрої фіксують геометрію об'єктів у формі хмари точок, що далі трансформуються у 3D-модель за допомогою відповідного програмного забезпечення [4].

У доповнення до лазерного сканування застосовується **фотограмметрія** – метод реконструкції простору на основі обробки серії фотознімків із різних ракурсів. Цей підхід особливо актуальний у випадках,

коли сканування неможливе з технічних причин, або коли потрібна оперативна фіксація події. Програмне забезпечення, як-от **RealityCapture**, **Agisoft Metashape** або **Pix4D**, забезпечує створення текстурованих 3D-моделей за допомогою фотограмметричних алгоритмів [5, с. 269–291].

Щодо програмного забезпечення для аналізу та реконструкції балістичних подій, найчастіше використовуються такі платформи, як **Autodesk 3ds Max**, **Blender**, **SketchUp**, а також спеціалізовані системи – як-от **FARO Zone 3D**, яка дозволяє не лише створювати сцени злочинів, а й анімувати рух осіб, моделювати постріли, їхню траєкторію, влучення та пробивну здатність різних типів куль. На думку Майкла Ваггонера, Джеффа Торнтон та Джастіна Бека [6, с. 123–136], використання FARO Zone 3D значно підвищує точність просторових оцінок під час відтворення траєкторії пострілу.

Якщо порівняти 3D-модельовання із традиційними методами реконструкції подій, то варто відзначити кілька ключових відмінностей. Традиційна методика передбачає використання двовимірних схем, креслень, замірів рулеткою, описових протоколів і фотофіксації. Такий підхід потребує високої просторової уяви від експерта, а також залишає чимало місця для суб'єктивного трактування. Окрім того, візуалізація ситуації в суді для неспеціалістів (зокрема, присяжних) часто ускладнена, що може впливати на об'єктивність оцінювання доказів [7, с. 104–111].

3D-модельовання, навпаки, забезпечує об'єктивну цифрову реконструкцію з високим ступенем точності. Моделі можна переглядати під різними кутами, змінювати освітлення, відтворювати послідовність подій у часі, а також моделювати різні версії розвитку подій. Це дозволяє більш повноцінно аналізувати ситуацію, виявляти невідповідності у свідченнях або версіях сторін, а також обґрунтовувати висновки експертів у більш переконливій формі [8]. Проте варто зазначити, що ефективність 3D-модельовання значною мірою залежить від точності вихідних даних і кваліфікації спеціалістів, що працюють із моделями.

У судовій балістиці 3D-модельовання найчастіше застосовується в ситуаціях, коли необхідно просторово відтворити події, пов'язані із застосуванням вогнепальної зброї, та встановити критично важливі параметри – напрямок пострілу, відстань, кут влучення, кількість пострілів, положення учасників події в момент стрілянини.

Одним із найбільш поширених випадків є реконструкція **сцени стрілянини в замкненому просторі** – автомобілях, квартирах, підсобних приміщеннях тощо. У таких ситуаціях важливо врахувати не лише траєкторії куль, а й відбитки на поверхнях, взаємне розташування об'єктів і перешкод. Зокрема, дослідження Майкла Талі, Маркуса Брауна, Віллі Бруйшвейлера та Ріхарда Дірнхофера [9, с. 123–129] показує, що тривимірна реконструкція сцени дозволяє встановити точне положення жертви та стрільця, чого неможливо досягти лише за допомогою традиційних схем або описів.

Інша поширена категорія – **інциденти з декількома учасниками або великою кількістю пострілів**, де постає потреба в поетапному відтворенні подій. У такому разі 3D-модель дозволяє не лише зафіксувати траєкторії, але й візуалізувати динаміку переміщення осіб, зіставити це з версіями сторін і показаннями свідків. Цей підхід використовується, наприклад, у разі поліцейського застосування зброї, коли важливо підтвердити або спростувати правомірність дій [10, с. 112–134].

Особливо ефективною технологія є у **вивченні траєкторій куль на відкритій місцевості**. За допомогою дронів і фотограмметрії створюються тривимірні моделі місцевості із прив'язкою до координатної системи, що дозволяє з високою точністю визначити напрямок пострілу, відстань до цілі, а також можливі перешкоди на шляху кулі. Відомі випадки використання таких реконструкцій у збройних конфліктах або під час розслідувань дій снайперів [11].

Ще одним напрямом є **відтворення випадків з рикошетом чи деформацією куль**, коли потрібно дослідити взаємодію кулі з різними матеріалами. 3D-моделювання в поєднанні із трасологічним аналізом дозволяє змодельовати ймовірну траєкторію після зіткнення, що особливо корисно у складних експертизах. За даними дослідження Майкла Ваггонера, Джеффа Торнтон та Джастіна Бека [6, с. 123–136], така інтеграція цифрових моделей з фізичними властивостями матеріалів дозволяє уникнути хибних висновків щодо первинного напрямку пострілу.

Отже, типові ситуації, у яких використовується 3D-моделювання в балістиці, охоплюють широкий спектр практичних завдань – від аналізу позицій учасників і траєкторій куль до складних багатофакторних реконструкцій. Це робить технологію незамінним інструментом у проведенні об'єктивного розслідування подій із застосуванням вогнепальної зброї.

У світовій практиці 3D-моделювання вже неодноразово демонструвало свою ефективність у судових справах, пов'язаних із застосуванням вогнепальної зброї. Один із найвідоміших зарубіжних прикладів – справа про поліцейське вбивство у США, де за допомогою програмного забезпечення **FARO Zone 3D** було створено повну віртуальну модель місця події з динамічною реконструкцією траєкторії пострілів. Це дозволило експертам довести, що заявлена версія про напад підозрюваного на правоохоронця не відповідала реальним просторовим даним [10, с. 123–134]. Інший приклад – справа у Великій Британії, у якій тривимірна модель кімнати, побудована за даними лазерного сканування, допомогла встановити, що стрілець перебував в іншому місці, ніж указувала сторона обвинувачення, що сприяло перегляду вироку [7, с. 104–111].

У Німеччині також активно застосовується 3D-моделювання, зокрема в контексті реконструкції стрілянини у транспорті або публічних місцях. Так, у справі про стрілянину в поїзді в Ганновері тривимірна візуалізація місця події дозволила змодельовати пересування підозрюваного, порівняти показання свідків із фактичним положенням тіл і просторовими перешкодами, що стало ключовим елементом доказової бази [11].

В Україні практика 3D-моделювання поки що перебуває на початковій стадії, однак уже є приклади його успішного застосування. Зокрема, у 2021 р. в рамках судової справи про умисне вбивство, яка розглядалася у Львівській області, експертами Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз було використано фотограмметрію та 3D-візуалізацію для відтворення сцени стрілянини у приватному будинку. Модель дозволила відтворити ймовірне положення сторін, напрямки пострілів і послідовність подій, чим підтвердила версію слідства про самооборону [12, с. 222–230].

Іншим прикладом є використання 3D-реконструкції під час повторної експертизи у справі щодо летального поранення на охоронюваному об'єкті в Київській об-

ласті. Завдяки моделюванню вдалося відтворити кут влучення кулі, що спростувало початковий висновок про випадковий постріл, привело до перекваліфікації дій обвинуваченого [13, с. 457–460].

У європейській практиці також відзначено ефективність 3D-моделювання. Зокрема, дослідження, проведене в Данії, демонструє, як поєднання комп'ютерної томографії та фотограмметрії дозволяє створювати точні тривимірні моделі тіл та місць подій, що значно покращує якість судово-медичних експертиз [14].

Ці приклади демонструють, що незалежно від юрисдикції, застосування 3D-моделей значно підвищує рівень доказовості у справах, пов'язаних із вогнепальною зброєю, зменшує ризики помилок і сприяє формуванню об'єктивної судової картини [15].

В Україні також відзначено позитивний досвід упровадження 3D-технологій у судову практику. Зокрема, у дослідженні Ю. Змієвської, І. Савки, І. Балука, В. Гринюка й А. Бізера акцентується на прикладному значенні 3D-моделювання для реконструкції вогнепальних поранень, що дозволяє більш точно визначити траєкторію кулі та характер ушкоджень, зокрема в аспекті диференційної діагностики виду травмивного снаряда [16, с. 42–50].

Використання 3D-моделювання в судово-балістичних дослідженнях відкриває нові можливості для підвищення точності та наочності реконструкції подій, пов'язаних із застосуванням вогнепальної зброї. Однак, поряд із беззаперечними перевагами, ця технологія має низку технічних та, що важливо, правових обмежень, які необхідно враховувати під час її впровадження у практику [17, с. 22–26].

Правові обмеження пов'язані з відсутністю чітких нормативно-правових актів, що регулюють використання 3D-моделювання в судовій практиці, що може викликати сумніви щодо допустимості таких доказів у суді [18, с. 86–89].

Питання допустимості 3D-моделей як доказів у судовому процесі є актуальним. Згідно із Кримінальним процесуальним кодексом України, доказ визнається допустимим, якщо він отриманий у порядку, установленому законом, і відповідає вимогам належності та достовірності. Отже, для визнання 3D-моделей допустимими доказами необхідно забезпечити їх отримання та обробку відповідно до встановлених процедур, а також підтвердити їхню достовірність і зв'язок з обставинами справи [19].

Для ефективного застосування 3D-моделювання в українських реаліях необхідно створити належні організаційні, технічні та правові умови. У цьому контексті важливо окреслити основні перспективи впровадження 3D-технологій у вітчизняну судово-експертну практику.

Для ефективного впровадження 3D-технологій у судово-експертну практику України необхідно створити комплексну систему, що охоплює технічне, організаційне й освітнє забезпечення. Це передбачає наявність сучасного обладнання, кваліфікованих фахівців, нормативно-правової бази й інтеграцію інноваційних методів у навчальні програми.

Однією із ключових умов є оснащення експертних установ сучасними 3D-сканерами та програмним забезпеченням, що дозволяє створювати точні тривимірні моделі об'єктів дослідження. Зокрема, використання системи **BalScan**, яка вже застосовується в Україні, демонструє ефективність 3D-сканування в балістичних експертизах. Однак для широкого впровадження

необхідно забезпечити доступність такого обладнання в усіх регіонах, навчити фахівців його використовувати [20, с. 267–278].

Окрім технічного забезпечення, важливою є підготовка кадрів. Це передбачає проведення тренінгів і курсів підвищення кваліфікації для експертів і слідчих, де вони можуть ознайомитися з новітніми методами 3D-моделювання та їх застосуванням у криміналістиці. Наприклад, бінарні заняття, проведені в університетах внутрішніх справ, сприяють формуванню практичних навичок у курсантів і молодих фахівців [21].

Не менш важливе запровадження 3D-технологій в освітній процес. Включення дисциплін, пов'язаних із 3D-моделюванням, у навчальні програми юридичних і криміналістичних факультетів дозволить майбутнім фахівцям від початку кар'єри володіти необхідними знаннями та навичками. Зокрема, програма «Криміналістична інформатика» передбачає вивчення новітніх інформаційних технологій у розслідуванні кримінальних правопорушень [22].

Окрім того, важливо розробити та впровадити нормативно-правові акти, що регулюють використання 3D-моделювання в судовій практиці. Це забезпечить правову визначеність і уніфікацію підходів до застосування цієї технології у кримінальних провадженнях.

Отже, впровадження 3D-технологій у судово-експертну практику України потребує комплексного підходу, що включає технічне оснащення, підготовку кадрів, освітні програми та нормативно-правове забезпечення. Тільки за умови реалізації всіх цих складників можна очікувати на ефективне та широке застосування 3D-моделювання у криміналістиці.

Висновки. Проведене дослідження дозволило ґрунтовно проаналізувати ефективність застосування 3D-мо-

делювання в судовій балістиці для реконструкції подій, пов'язаних із використанням вогнепальної зброї. На основі теоретичного узагальнення та аналізу практичних прикладів доведено, що технологія 3D-моделювання відкриває нові можливості для криміналістичної експертизи, підвищує рівень точності, наочності й об'єктивності досліджень. Вона дозволяє не лише відтворити геометричні параметри місця події, а й візуалізувати динаміку злочинної ситуації, що сприяє кращому розумінню подій усіма учасниками процесу – експертами, слідчими, адвокатами та судом.

Результати роботи підтверджують, що 3D-моделювання ефективно доповнює традиційні методи судово-балістичного аналізу, а в низці випадків – перевершує їх за інформативністю. Водночас виявлено низку чинників, що стримують повномасштабне впровадження цієї технології в Україні: це передусім брак сучасного технічного обладнання, нестача навчених фахівців і відсутність чіткого правового регулювання.

У цьому контексті перспективним напрямом подальших наукових розвідок є розроблення методичних рекомендацій щодо застосування 3D-моделювання в балістичних експертизах, а також створення єдиних стандартів і протоколів для цифрової фіксації місця події. Окрему увагу варто приділити дослідженню можливостей інтеграції 3D-реконструкцій із цифровим кримінальним провадженням і автоматизованими системами криміналістичного аналізу. Окрім того, необхідним є міждисциплінарний підхід, який поєднує знання з технічних наук, інформатики, юриспруденції та психології сприйняття візуальних доказів. Такі дослідження сприятимуть не лише вдосконаленню експертної діяльності, а й підвищенню якості слідства та судового розгляду загалом.

Список використаних джерел

1. Lee H. C., Palmbach T., Miller M. T. Henry Lee's Crime Scene Handbook. San Diego : Academic Press, 2001. 416 p.
2. Forensic Anthropology: Contemporary Theory and Practice / D. C. Dirkmaat et al. Chichester : Wiley-Blackwell, 2012. 600 p.
3. The Practice of Crime Scene Investigation / J. Horswell (Eds.). Boca Raton : CRC Press, 2004. 432 p.
4. Böhler W., Marbs A. 3D scanning and photogrammetry for heritage recording: A comparison. *Proceedings of the 12th International Conference on Geoinformatics*. 2002.
5. Remondino F., El-Hakim S. Image-based 3D modelling : A review. *The Photogrammetric Record*. 2006. Vol. 21. № 115. P. 269–291.
6. Waggoner M., Thornton D., Beck J. Reconstructing shooting incidents using FARO Zone 3D. *Journal of Forensic Identification*. 2017. Vol. 67. № 2. P. 123–136.
7. Juliao T., Bolliger S. A., Thali M. J. The role of forensic 3D documentation and virtual reconstruction in legal medicine : A narrative review. *Forensic Science International*. 2016. Vol. 261. P. 104–111.
8. Evison M. P., Schmitt A. The use of 3D visualization in forensic anthropology. *Handbook of Forensic Anthropology and Archaeology* / S. Blau, D. Ubelaker (Eds.). Walnut Creek : Left Coast Press, 2009. P. 319–330.
9. Thali M. J., Braun M., Brueschweiler W., Dirnhofer R. Matching the Entry and Exit Wounds-Visualization of Gunshot Trajectory Using 3D Multislice Computed Tomography. *Forensic Science International*. 2003. Vol. 138 (1–3). P. 123–129.
10. Ferguson L. Policing and the Use of Force: Visualizing Officer-Involved Shootings with 3D Technology. *Journal of Law and Technology*. 2016. Vol. 23 (2). P. 112–134.
11. Gerold K., Ebert J. 3D Ballistic Reconstruction in Open-Field Crime Scenes: A Case Study Using UAV Photogrammetry. *Forensic Imaging*. 2021. Vol. 26. Article 200452.
12. Дуфенюк О., Мельник Н., Нагорняк Ю., Мельник С. Інноваційний потенціал 3D-технологій у розслідуванні злочинів. *Соціально-правові студії*. 2024. Т. 7. № 4. С. 222–230. DOI: 10.32518/sals4.2024.222.
13. Дуфенюк О. Майбутнє 3D-криміналістики: інновації, які змінюють практику досудового розслідування. *Юридичний електронний журнал*. 2024. № 3. С. 457–460. DOI: 10.32782/2524-0374/2024-3/110.
14. A Virtual, 3D Multimodal Approach to Victim and Crime Scene Reconstruction. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10486680/> (дата звернення: 19.05.2025).
15. Assessing Forensic Ballistics Three-Dimensionally through Graphical Reconstruction and Immersive Observation. *IPLab – Image Processing Laboratory*. URL: https://iplab.dmi.unict.it/mfs/Forensic-Firearms-Ballistics-VR/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 19.05.2025).
16. Змієвська Ю., Савка І., Балук І., Гринюк В., Бізер А. Прикладне значення 3D-моделювання в аспекті судово-медичної диференційної діагностики виду травмуючого снаряда при ушкодженнях з вогнепальної зброї та наближеної

до неї за своїми характеристиками. *Судово-медична експертиза*. 2023. № 1. С. 42–50. URL: https://forensic.bsmu.edu.ua/article/view/285209/279436?utm_source=chatgpt.com.

17. Александренко О. Сучасні напрями та перспективи використання інформаційних технологій в розслідуванні кримінальних правопорушень. *Сучасні напрями розвитку судової експертизи та криміналістики* : збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Одеса, 5 вересня 2024 р. Одеса : Юридика, 2024. С. 22–26.

18. Бринзело Д. Вплив інтелектуального потенціалу на ефективність судової експертизи. *Сучасні напрями розвитку судової експертизи та криміналістики* : збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Одеса, 5 вересня 2024 р. Одеса : Юридика, 2024. С. 86–89.

19. Стефанів Н. Належність і допустимість доказів. *Вимоги ЄКПЛ та КПК*. URL: https://supreme.court.gov.ua/userfiles/media/new_folder_for_uploads/supreme/Stefaniv_2022_01_27_.pdf (дата звернення: 19.05.2025).

20. Коваленко А., Остафіїв Б., Стахів Н. Використання 3D-технологій під час проведення судових трасологічних експертиз. *Вісник Луганського навчально-наукового інституту імені Е. О. Дідоренка*. 2023. Вип. 4 (104). С. 267–278.

21. Бінарне заняття із 3D-моделювання огляду місця події. Харківський національний університет внутрішніх справ. URL: <https://univd.edu.ua/uk/news/19380> (дата звернення: 19.05.2025).

22. Теорія і практика криміналістичної інформатики. URL: https://arm.navs.edu.ua/books/kryminalist_inform/nmm/prog.html (дата звернення: 19.05.2025).

References

1. Lee, H. C., Palmbach, T., & Miller, M. T. (2001). *Henry Lee's Crime Scene Handbook*. San Diego: Academic Press [in English].
2. Dirkmaat, D. C., Cabo, L. L., Ousley, S. D., & Symes, S. A. (2012). *Forensic Anthropology: Contemporary Theory and Practice*. Chichester: Wiley-Blackwell [in English].
3. Horswell, J. (Ed.) (2004). *The Practice of Crime Scene Investigation*. Boca Raton: CRC Press [in English].
4. Böhler, W., & Marbs, A. (2002). 3D scanning and photogrammetry for heritage recording: A comparison. *Proceedings of the 12th International Conference on Geoinformatics* [in English].
5. Remondino, F., & El-Hakim, S. (2006). Image-based 3D modelling: A review. *The Photogrammetric Record*, 21 (115), 269–291 [in English].
6. Waggoner, M., Thornton, D., & Beck, J. (2017). Reconstructing shooting incidents using FARO Zone 3D. *Journal of Forensic Identification*, 67 (2), 123–136 [in English].
7. Juliao, T., Bolliger, S. A., & Thali, M. J. (2016). The role of forensic 3D documentation and virtual reconstruction in legal medicine: A narrative review. *Forensic Science International*, 261, 104–111 [in English].
8. Evison, M. P., & Schmitt, A. (2009). The use of 3D visualization in forensic anthropology. In Blau, S., & Ubelaker, D. (Eds.), *Handbook of Forensic Anthropology and Archaeology* (pp. 319–330). Walnut Creek: Left Coast Press [in English].
9. Thali, M. J., Braun, M., Brueschweiler, W., & Dirnhofer, R. (2003). Matching the entry and exit wounds – Visualization of gunshot trajectory using 3D multislice computed tomography. *Forensic Science International*, 138 (1–3), 123–129 [in English].
10. Ferguson, L. (2016). Policing and the use of force: Visualizing officer-involved shootings with 3D technology. *Journal of Law and Technology*, 23 (2), 112–134 [in English].
11. Gerold, K., & Ebert, J. (2021). 3D ballistic reconstruction in open-field crime scenes: A case study using UAV photogrammetry. *Forensic Imaging*, 26, 200452 [in English].
12. Dufeniuk, O., Melnyk, N., Nahorniak, Yu., & Melnyk, S. (2024). Innovatsiyni potentsial 3D-tekhnologii u rozsliduvanni zlochyniv [Innovative potential of 3D technologies in criminal investigation]. *Sotsialno-pravovi studii*, 7 (4), 222–230. <https://doi.org/10.32518/sals4.2024.222> [in Ukrainian].
13. Dufeniuk, O. M. (2024). Maibutnie 3D kryminalistyky: innovatsii, yaki zminiuiut praktyku dosudovoho rozsliduvannia [The future of 3D forensic science: innovations transforming pre-trial investigation practice]. *Yurydychnyi elektronnyi zhurnal*, (3), 457–460. <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2024-3/110> [in Ukrainian].
14. A Virtual, 3D multimodal approach to victim and crime scene reconstruction (2023). National Library of Medicine. Retrieved May 19, 2025, from <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10486680/> [in English].
15. Assessing Forensic Ballistics Three-Dimensionally through Graphical Reconstruction and Immersive Observation (2025). IPLab – Image Processing Laboratory. Retrieved from: https://iplab.dmi.unict.it/mfs/Forensic-Firearms-Ballistics-VR/?utm_source=chatgpt.com [in English].
16. Zmiivska, Yu. H., Savka, I. H., Baluk, I. H., Hryniuk, V. V., & Bizer, A. R. (2023). Prykladne znachennia 3D-modeliuvannia v aspekti sudovo-medychnoi dializnostyky pry ushkozhdzhenni z vohnepalnoi zbroi [Applied value of 3D modeling in forensic diagnosis of injuries from firearms and similar weapons]. *Sudovo-medychna ekspertyza*, 1, 42–50. Retrieved from <https://forensic.bsmu.edu.ua/article/view/285209/279436> [in Ukrainian].
17. Aleksandrenko, O. (2024). Suchasni napriamky ta perspektyvy vykorystannia informatsiinykh tekhnologii v rozsliduvanni kryminalnykh pravoporushen [Modern trends and prospects of using IT in crime investigation]. In *Suchasni napriamky rozvytku sudovoi ekspertyzy ta kryminalistyky: materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf.* (Odesa, Sept. 5, 2024) (pp. 22–26). Odesa: Yurydyka [in Ukrainian].
18. Brynzelo, D. (2024). Vplyv intelektualnogo potentsialu na efektyvnist sudovoi ekspertyzy [Impact of intellectual potential on forensic examination effectiveness]. In *Suchasni napriamky rozvytku sudovoi ekspertyzy ta kryminalistyky: materialy Konf.* (pp. 86–89). Odesa: Yurydyka [in Ukrainian].
19. Stefaniv, N. (2022). Nalezhnist i dopustymist dokaziv: Vymohy YEKPL ta KPK [Admissibility of evidence: ECHR and CPC requirements]. Retrieved May 19, 2025, from https://supreme.court.gov.ua/userfiles/media/new_folder_for_uploads/supreme/Stefaniv_2022_01_27_.pdf [in Ukrainian].
20. Kovalenko, A. V., Ostafii, B. L., & Stakhiv, N. V. (2023). Vykorystannia 3D-tekhnologii pid chas provedennia sudovykh trasolohichnykh ekspertyz [Use of 3D technologies in forensic trace analysis]. *Visnyk LNNI im. E. O. Didorenka*, 4 (104), 267–278 [in Ukrainian].

21. Kharkivskiy natsionalnyi universytet vnutrishnikh sprav (2025). Binarne zaniattia z 3D-modeliuvannya ohliadu mist-sia podii [Binary class on 3D-modelling of crime scene inspection]. Retrieved May 19, 2025, from <https://univd.edu.ua/uk/news/19380> [in Ukrainian].

22. Teoriia i praktyka kryminalistychnoi informatyky [Theory and practice of forensic informatics]. (n.d.). Retrieved May 19, 2025, from https://arm.navs.edu.ua/books/kryminalist_inform/nmm/prog.html [in Ukrainian].

Gusak Andrii,

Doctor of Law

(Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2142-5193>

EFFECTIVENESS OF USING 3D MODELLING IN BALLISTICS FOR RECONSTRUCTION OF FIREARMS EVENTS

This article analyzes the effectiveness of using 3D modeling technologies in forensic ballistics, focusing on the reconstruction of events involving firearms. In contemporary investigative practice, the need for precise spatial interpretation of crime scenes has encouraged the adoption of digital tools, with 3D modeling becoming increasingly relevant. This technology enables more accurate reconstruction of bullet trajectories, shooter and victim positions, and wound characteristics, enhancing the objectivity of forensic conclusions.

The article reviews current Ukrainian and international approaches to 3D modeling in forensic contexts. Ukrainian experience is represented by case studies demonstrating the application of photogrammetry and specialized software (e.g., Agisoft PhotoScan, 3Ds Max) for reconstructing gunshot injuries. A study by Zmiievska et al. highlights the value of such methods in determining projectile trajectories and injury types. Internationally, research by Guarnera et al. illustrates the integration of virtual reality (VR) with 3D visualization, allowing for more immersive and accurate evaluation of ballistic evidence.

The paper compares traditional reconstruction techniques with digital modeling, identifying clear advantages in accuracy, visualization, and reproducibility. At the same time, it addresses barriers to wider implementation in Ukraine, including the absence of technical standards, limited access to equipment, and insufficient professional training.

Attention is given to the legal admissibility of 3D reconstructions in court and the importance of procedural safeguards. The authors emphasize the need for integrating these technologies into expert practice, pre-trial investigations, and forensic education. Recommendations are offered for improving technical infrastructure, updating regulations, and enhancing expert preparedness to strengthen the role of 3D modeling in the Ukrainian criminal justice system.

Key words: 3D modelling, forensic ballistics, pre-trial investigation, event reconstruction, firearms, digital technologies.