УДК 343.9,519.85,311.2 DOI: 10.37025/1992-4437/2025-44-2-100

М. Ю. Ромбовський,
кандидат фізико-математичних наук,
старший судовий експерт сектору трасологічних досліджень
відділу криміналістичних видів досліджень,
Сумський науково-дослідний експертно-криміналістичний
центр МВС України
вул. Промислова, 8, м. Суми, 40007, Україна
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2296-3452
email: rombovsky_m@ukr.net
тел.: +38(066)959-29-64
В. В. Коваль,
кандидат фізико-математичних наук,
старший викладач кафедри кібербезпеки,
Сумський державний університет
вул. Харківська, 116, м. Суми, 40000, Україна
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1593-5605
email: koval_vit@ukr.net
М. А. Майєр,
заступник завідувача відділу трасологічного
та дактилоскопічного обліку лабораторії трасологічних,
дактилоскопічних досліджень та обліку,
Державний науково-дослідний експертно-криміналістичний
центр МВС України
вул. Велика Кільцева, 4, с. Петропавлівська Борщагівка,
Бучанський р-н, Київська обл., 08130, Україна
email: maksimmayer@gmail.com

АВТОМАТИЗАЦІЯ КРИМІНАЛІСТИЧНОГО ТРАСОЛОГІЧНОГО ОБЛІКУ СЛІДІВ ВЗУТТЯ

ПОВІДОМЛЕННЯ 1

СТВОРЕННЯ ОКРЕМОГО ЗАСТОСУНКУ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТРАСОЛОГІЧНОГО ОБЛІКУ СЛІДІВ ВЗУТТЯ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО РЕСУРСУ ЕКСПЕРТНОЇ СЛУЖБИ МВС УКРАЇНИ

Анотація. Започатковано серію статей із функціонування автоматизованого обліку слідів взуття. Висвітлено особливості роботи окремого застосунку програмного комплексу, створеного на основі платформи програмування та числових обчислень MATLAB, яка дає змогу формувати інформаційний ресурс зображень слідів взуття для подальших перевірок у межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття, обґрунтовано доцільність його використання. Під час дослідження застосовано різні методи, серед них: математичний – для отримання і формування даних і розрахунків їх перетворення, логічні, зокрема синтезу й аналізу, статистичний, в межах яких виявлено форми взаємодії між елементами даних, а також узагальнення. Наукова новизна доробку полягає в обґрунтуванні доцільності використання окремого застосунку оригінального програмного комплексу формування інформаційного ресурсу слідів взуття для автоматизованого трасологічного обліку Експертної служби Міністерства внутрішніх справ України з кодуванням за допомогою шаблону назв елементарних рисунків і внесенням значень їхніх розмірних характеристик в єдиному масштабі. В основі окремого застосунку програмного комплексу лежать методи формування інформаційного ресурсу у вигляді багатовимірних матриць і математичного перетворення масштабів на довільних зображеннях до єдиної системи відліку, а також кодування об'єктів за допомогою шаблону назв його елементів. Як програмне середовище використовувалася платформа програмування та числових обчислень MATLAB із пакетом прикладних програм Image Processing Toolbox. Крім того, схарактеризовано основні ідеї та принципи, що становлять підґрунтя роботи окремого застосунку оригінального програмного комплексу, визначено завдання, як-то: створення зручної системи введення та збереження даних дослідження; створення основи реєстраційної картки для слідів взуття; формування єдиного масштабу зображень слідів взуття; створення шаблону назв елементів рисунка для кодування геометричної форми елементів рисунка, відображеного в сліді взуття; можливість

© М. Ю. Ромбовський, В. В. Коваль, М. А. Майєр, 2025

вимірювання розмірних характеристик елементів рисунка, відображеного в сліді взуття; формування інформаційного ресурсу для подальшого порівняльного дослідження слідів взуття в межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття. Сформульовано вимоги до зображень слідів, що підлягають уміщенню до загальної бази автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття (формат зображення, масштабна лінійка, роздільна здатність). Роботу програмного застосунку унаочнено на прикладі вміщення сліду взуття до обліку. Окреслено напрями подальших досліджень – удосконалення клієнтської частини окремого застосунку програмного комплексу, розроблення форми реєстраційної картки відповідно до положень нормативних документів, створення системи автоматизованого визначення форми та розмірних характеристик елементів рисунка слідів та його вміщення до загального масиву.

Ключові слова: графічне зображення; перевірка; загальна ознака; кодування; MATLAB; Image Processing Toolbox.

Вступ

Сьогодні актуальним є питання розвитку та вдосконалення методів, спрямованих на протидію кримінальним правопорушенням, які застосовують працівники органів досудового розслідування (Hora, & Kolesnyk, 2020; Shepitko, 2022; Kellett et al., 2024). Серед них, зокрема, методи автоматизації роботи з різними видами слідів, які вилучають за фактом вчинення кримінальних правопорушень для подальшого їх розслідування (Bukhonskyi, 2020). У розвитку таких методів набуває ваги інформація, що характеризує різні аспекти кримінального правопорушення, зокрема й інформація про осіб, які його вчинили. Серед важливих способів її накопичення – криміналістичний облік пошукового призначення Експертної служби Міністерства внутрішніх справ України, основні положення формування, ведення і використання якого визначено Інструкцією з організації функціонування криміналістичних обліків експертної служби МВС України, затвердженої наказом МВС України від 10 вересня 2009 р. № 390. Використання відомостей, що містяться в ньому, під час розслідування кримінальних правопорушень становлять необхідний і невід'ємний складник діяльності органів досудового розслідування з пошуку, фіксування, отримання, аналізування та використання інформації для встановлення осіб, які вчинили правопорушення. Ефективність використання криміналістичного обліку залежить від наявності в суб'єктів розслідування достовірної та необхідної інформації про криміналістично значущі об'єкти, отриманої з різноманітних джерел, а також оперативність її отримання.

У межах порушеної проблематики висвітлено перший етап автоматизації трасологічного обліку слідів взуття як одного з найпоширеніших криміналістичних обліків слідової інформації, виявленої на місці події, а саме створення електронного інформаційного ресурсу слідів низу взуття.

Сліди-об'єкти трасологічного дослідження, визнані придатними для порівняльного дослідження за загальними ознаками або ідентифікації (Zholtanska, & Stepura, 2021), перевіряють за відповідними колекціями.

Основою процедури встановлення збігів між слідами за загальними ознаками є той чи той метод порівняння ознак об'єкта з ознаками відображення на об'єкті-слідоносії. Водночас процес дослідження завершується з'ясуванням придатності сліду для порівняння, визначенням його групової належності або ідентифікацією з іншим слідом або взуттям. Практика використання криміналістичних обліків останніх років свідчить про те, що підвищення ефективності вирішення зазначеного завдання нерозривно пов'язане з підвищенням рівня автоматизації обліків завдяки створенню автоматизованих систем і комплексів, інформаційних ресурсів відповідно до видів колекцій. Крім того, візуальні методи дослідження слідів взуття характеризуються суб'єктивністю, що може зумовити відмінності у висновках різних дослідників. Тому постає потреба у створенні інформаційного ресурсу, що звужує варіативність результатів дослідження та має статистичну основу (Bennett, P., 2011; Bennett, M., & Budka, 2019; Baiker-Sorensen et al., 2020).

У сучасних умовах практично жодну перевірку слідової інформації не проводять без звернення до новітніх натуральних колекцій, інформаційних ресурсів і систем автоматизації (Devishree et al., 2019; Raffel et al., 2020; Stoykova, & Shakev, 2023). Завдяки розвитку технологій інформаційні системи перетворились на унікальні комплекси аналізу й синтезу (Rombovsky, & Radchenko, 2019; Ferreira et al., 2020; Nowroozi et al., 2021). Прикладом системи автоматизованої ідентифікації, упровадженої в НДЕКЦ МВС України, можуть слугувати Автоматизована дактилоскопічна ідентифікаційна система «Дакто 2000» (Ministerstvo vnutrishnikh sprav Ukrainy, 2020, Lypen 03, *Instruktsiia pro tymchasovyi poriadok; ADIS «DAKTO» Avtomatyzovana daktyloskopichna identyfikatsiina systema*, n.d.) та АБІС «BALSCAN» (BalScan, n.d.).

Саме для автоматизованої перевірки і якісного подальшого порівняння слідів взуття за загальними ознаками в межах функціонування криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття автори цієї наукової статті започаткували використання програмного комплексу на основі платформи програмування та числових обчислень MATLAB, із застосуванням пакету прикладних програм Image Processing Toolbox (*Image Processing Toolbox*, n.d.). Наразі триває апробування цього

програмного комплексу на центральному рівні трасологічного обліку слідів взуття в ДНДЕКЦ МВС України з перспективою його застосування на регіональному рівні, в усіх НДЕКЦ МВС України з єдиним сервером, що дасть змогу створити єдину електронну оперативно-пошукову колекцію слідів взуття, вилучених по всій країні під час розслідування кримінальних правопорушень.

Зазначений програмний комплекс складається з двох окремих функціональних блоків (програмних застосунків). Першим послуговуються, щоб створити інформаційні ресурси для подальшого порівняльного дослідження слідів взуття за загальними ознаками в межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття. Другим – для безпосередньої перевірки та порівняльного дослідження слідів взуття за елементами створеного за допомогою першого блока інформаційного ресурсу. Цим матеріалом, присвяченим особливостям роботи з першим окремим функціональним блоком, започатковано серію статей, пов'язану з особливостями роботи автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття.

Мета статті – обґрунтувати доцільність використання окремого застосунку програмного комплексу на основі платформи програмування та числових обчислень MATLAB із пакетом прикладних програм Image Processing Toolbox, який дає змогу сформувати інформаційний ресурс із кодуванням у ньому слідів взуття за допомогою шаблону назв елементарних рисунків і внесенням значень їхніх розмірних характеристик в єдиному масштабі для подальшої автоматизованої перевірки за криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття, для підвищення якості та оперативності зазначених перевірок під час розслідування кримінальних правопорушень. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання: висвітлити переваги використання зазначеного окремого застосунку програмного комплексу; сформулювати вимоги до зображень слідів, що підлягають уміщенню до загального інформаційного ресурсу автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття; визначити напрями подальшого вдосконалення розробленого програмного комплексу.

Методи та матеріали

У процесі дослідження застосовано комплекс наукових методів, що дало змогу забезпечити формування, оброблення та збереження даних у межах створення інформаційного ресурсу зображень слідів взуття. Наприклад, математичними методами розраховано масштабні перетворення і сформовано багатовимірні матриці зображень, використовуваних як основа інформаційного ресурсу.

Логічні методи, зокрема аналіз, синтез та узагальнення, застосовано для формалізації процесів кодування елементів рисунка сліду взуття за допомогою шаблону назв елементарних рисунків, що дало змогу структурувати інформацію та забезпечити її уніфіковане подання.

Завдяки статистичним методам обґрунтовано доцільність розділення однотипних елементів рисунка за розмірними характеристиками, визначено діапазони їхніх найбільших розмірів, на що зважають у подальшому порівняльному дослідженні (Dua et al., 2020; Babu, & Rao, 2021).

Матеріальну основу дослідження становили зображення слідів взуття у форматі JPG, виготовлені відповідно до вимог методів судової фотографії: зображення мають містити масштабну лінійку, розміщену паралельно площині сліду, у масштабі 1:1 і з роздільною здатністю не нижче 600 dpi, що відповідає вимогам Інструкції з організації функціонування криміналістичних обліків експертної служби МВС України, затвердженої наказом МВС України від 10 вересня 2009 р. № 390.

Як програмним забезпеченням послуговувалися платформою програмування та числових обчислень MATLAB із пакетом прикладних програм Image Processing Toolbox. Розроблений окремий застосунок програмного комплексу функціонує у двох модифікаціях: з використанням попередньо зібраного виконуваного файлу та з включеним дистрибутивом бібліотек MATLAB Runtime для забезпечення роботи без встановлення повного середовища MATLAB.

Інформаційний ресурс сформовано через кодування загальних ознак рисунка сліду взуття, внесення розмірних характеристик елементів, приведених до єдиного масштабу, та збереження цих даних у вигляді багатовимірного масиву з відповідним ID (скорочено від *identificator* – унікальна ознака об'єкта, що дає змогу відрізнити його від інших об'єктів, тобто ідентифікувати) у структурованому каталозі.

Для аналізування функціональності створеного програмного комплексу також вивчено можливості зарубіжних автоматизованих систем (Reel et al., 2022; Jang et al., 2023; Shafique et al., 2024), зокрема TrasoScan™ (Drzewiecka, & Rogoża, 2021; Afonin et al., 2022) і SICAR®6.

Система TrasoScan™, розроблена в Чеській Республіці, є універсальним рішенням для дослідження слідів взуття, слідів пальців, документів, інших об'єктів. Вона дає змогу сканувати підошви взуття з роздільною здатністю до 1000 dpi та послуговуватися спеціалізованим програмним забезпеченням для порівняльного аналізу. Інтегрований вакуумний стіл призначено для закріплення желатинових фіксаторів, фіксаторів пилу

та паперу, для зменшення викривлення поверхні та відбитків. Система повністю контролюється комп'ютерним пристроєм за допомогою спеціального програмного забезпечення для криміналістичного аналізу, яке входить до комплектації цієї системи. Така система дає змогу порівнювати кілька об'єктів (*TrasoScan. System for Shoeprint and Fingerprint Examination*, n.d.; Afonin et al., 2022).

Система SICAR®6 забезпечує зональне кодування рисунків сліду взуття з використанням геометричних фігур (прямих, хвилястих ліній, кіл, трикутників тощо). Принцип роботи полягає в тому, що слід поділено на зони, а оператор описує кожну зону, використовуючи геометричні фігури у вигляді прямих і хвилястих ліній, зиґзаґів, кіл, прямокутників, трикутників і багатокутників тощо (*SICAR® 6. Saint-Tech – Discover Science Together With Us*, n.d.).

Проте, і це є недоліком обох систем, бракує можливості проводити автоматизоване порівняльне дослідження за розмірними характеристиками елементів рисунка, на що й зважено під час розроблення застосунку.

Отже, запропоноване рішення дає змогу усунути виявлені обмеження чинних систем і забезпечує формування єдиного електронного інформаційного ресурсу, придатного для автоматизованого порівняльного дослідження слідів взуття в межах функціонування трасологічного обліку Експертної служби МВС України.

Результати й обговорення

Окремий застосунок програмного комплексу функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття з робочою назвою «BringShoePrints» розробили автори цієї статті на ресурсній базі Сумського науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України, Державного науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України та Сумського державного університету. Як програмне забезпечення застосовано платформу програмування та числових обчислень MATLAB із пакетом прикладних програм Image Processing Toolbox. Його специфіка зумовлена формуванням інформаційного ресурсу зображень слідів взуття для подальшого автоматизованого порівняльного дослідження за загальними ознаками рисунків слідів взуття під час перевірки за криміналістичним трасологічним обліком слідів взуття з кодуванням за допомогою шаблону назв елементарних рисунків і внесенням значень їх розмірних характеристик в єдиному масштабі.

Дистрибутив програмного застосунку містить дві модифікації – .exe-файли розміром 11 Мб і 1,5 Гб. У першому випадку програмний застосунок представлений у вигляді виконуваного коду авторського алгоритму, без підключення бібліотек MATLAB, необхідних для роботи основного програмного блоку. Пакет Runtime MATLAB дає змогу запускати та працювати з відкомпільованими застосунками без придбання самого MATLAB (*MATLAB Runtime*, n.d.). Його можна завантажити окремо. У другій конфігурації всі бібліотеки, необхідні для коректної роботи програмного застосунку, інсталюватимуться автоматично.

Інсталюють програмний застосунок на комп'ютер стандартним способом (Rombovskyi, & Koval, 2023).

Зображення слідів, уміщуваних до загального інформаційного ресурсу за допомогою окремого застосунку програмного комплексу функціонування автоматизованого трасологічного обліку слідів взуття Експертної служби МВС України з робочою назвою «BringShoePrints», які підлягають перевірці за автоматизованим криміналістичним трасологічним обліком слідів взуття, виготовляють винятково у форматі JPG, за правилами методів судової фотографії, з використанням масштабної лінійки, яка повинна розміщуватися паралельно площині, на якій розташований слід, у масштабі 1:1, з роздільною здатністю не нижче 600 dpi, що відповідає вимогам Інструкції з організації функціонування криміналістичних обліків експертної служби МВС України, затвердженої наказом МВС України від 10 вересня 2009 р. № 390. Не підлягають перевірці та вміщенню до автоматизованого трасологічного обліку слідів взуття Експертної служби МВС України зображення слідів, оформлених із порушенням зазначених вимог та які непридатні для порівняння.

Унаочнимо процес уміщення зображення сліду взуття до інформаційного ресурсу слідів взуття за допомогою окремого застосунку програмного комплексу функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття з робочою назвою «BringShoePrints».

У клієнтській частині програмного застосунку реалізовано такі функції: введення зображень слідів взуття; створення електронної реєстраційної картки; кодування сліду за допомогою шаблону назв елементів рисунка сліду взуття; можливість створення єдиного розмірного масштабу для зображень слідів взуття; підключення лінійки для вимірювання розмірних характеристик елементів рисунка в зображенні слідів взуття (шкала лінійки в міліметрах); можливість додавання та скасування елементів коду із шаблону назв елементів рисунка сліду взуття та розмірних характеристик цих елементів; створення інформаційного ресурсу слідів взуття для подальшого проведення

перевірок у межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття (рис. 1).

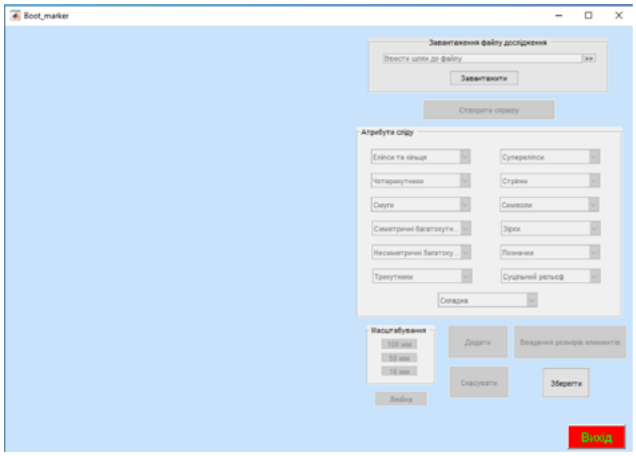

Рис. 1
Інтерфейс окремого застосунку програмного комплексу

Для завантаження файлу із зображенням сліду взуття у відповідному віконці зазначають шлях до файлу, що містить раніше створене зображення, прописавши його вручну або натиснувши кнопку «>>» і обравши відповідний файл. Кнопку «Завантажити» використовують для завантаження файлу після набору шляху вручну (див. рис. 2, область «Завантаження файлу дослідження»). Зображення сліду взуття та лінійку зі шкалою, вираженою в пікселях, відображають у лівій частині інтерфейсу програмного застосунку (рис. 2).

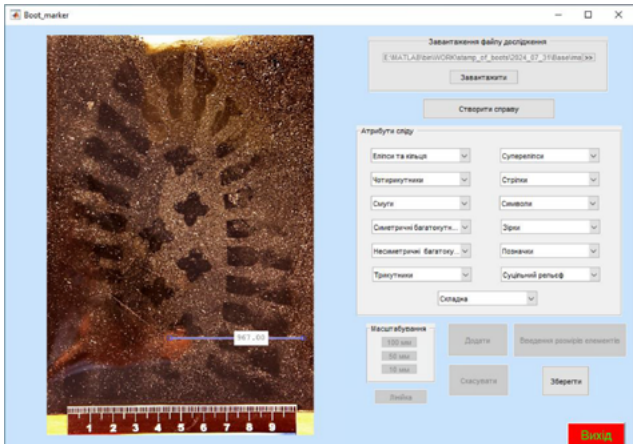

Рис. 2
Результати відображення
зображення сліду взуття та лінійки

Наступним етапом є створення основи реєстраційної картки слідів взуття, натискаючи кнопку «Створити справу», із подальшим заповненням відповідних граф у спливному вікні (див. рис. 3). Остаточна електронна форма цієї картки на момент написання статті перебуває на стадії розроблення.

Серед головних дій під час роботи із окремим застосунком програмного комплексу функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття з робочою назвою «BringShoePrints»:

кодування загального рисунка сліду взуття за допомогою шаблону назв елементарних рисунків. У програмному застосунку назви елементарних рисунків вибирають із розкривних списків, у яких вони об'єднані за подібними геометричними формами (див. рис. 4);

додавання елементів списку до коду слідів взуття для подальшого збереження в інформаційному ресурсі слідів взуття. Для збереження заданого коду сліду взуття натискають кнопку «Додати». Якщо рисунок сліду взуття складається з елементів, геометрична форма яких об'єднана тим самим розкривним списком, натискають кнопку «Додати» після кожного вибору з відповідного розкривного списку.

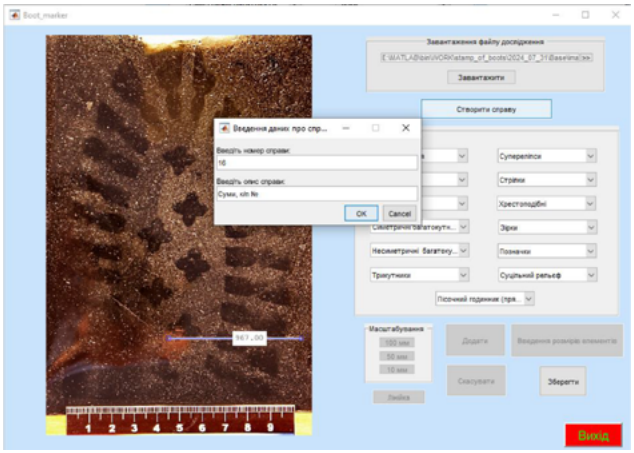

Рис. 3
Вікно створення реєстраційної картки

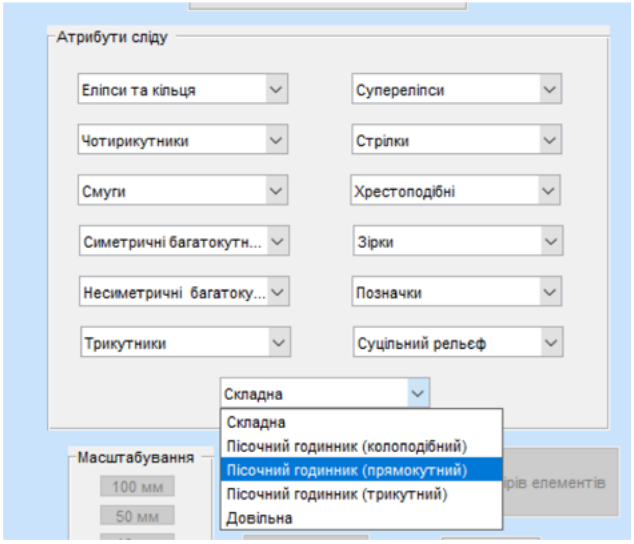

Рис. 4
Вибір назви елементарного рисунка для кодування
загального рисунка сліду взуття

Перед перевіркою за загальними ознаками зображення слідів приводять до єдиного масштабу. В окремому застосунку програмного комплексу

функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття з робочою назвою «BringShoePrints» цю процедуру здійснюють за допомогою лінійки. Спочатку, послуговуючись маніпулятором «миша», краї лінійки, зі шкалою в пікселях, суміщають зі значенням показань на лінійці, відображеній на зображенні сліду взуття. Залежно від обраного значення (у програмному застосунку підтримується вибір довжини 100 мм, 50 мм, 10 мм) натискають на одну з кнопок (див. рис. 5, область «Масштабування» – значення суміщення країв лінійки припадає на значення довжини показника лінійки на зображенні сліду, що відповідає 100 мм).

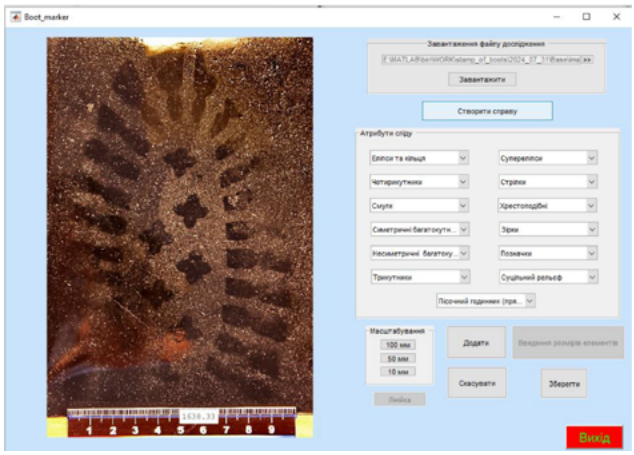

Рис. 5
Суміщення країв лінійки зі значенням довжини на лінійці, відображеної на зображенні сліду взуття

Зазначені дії приводять зображення слідів взуття до єдиного масштабу. Натиснення на кнопку «Лінійка» вмикає та вимикає інструмент лінійки зі шкалою в міліметрах, що дає змогу вимірювати розмірні характеристики елементів безпосередньо в окремому застосунку програмного комплексу функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття (рис. 6).

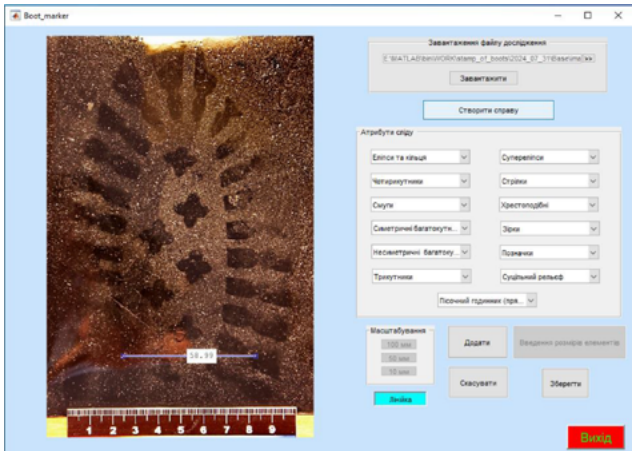

Рис. 6
Вмикання інструменту «Лінійка»

Наступний етап – задавання їхніх розмірних характеристик. Натискаючи на кнопку «Введення розмірів елементів», з'являється додаткове спливне вікно «Атрибути сліду», у якому відображаються назви обраних елементів із чотирма полями під назвами для внесення розмірних характеристик. У поля вносять діапазони найбільших розмірів однотипних елементів рисунка сліду взуття (рис. 7). Для коректності розрахунків застосовують розділювальний символ «.».

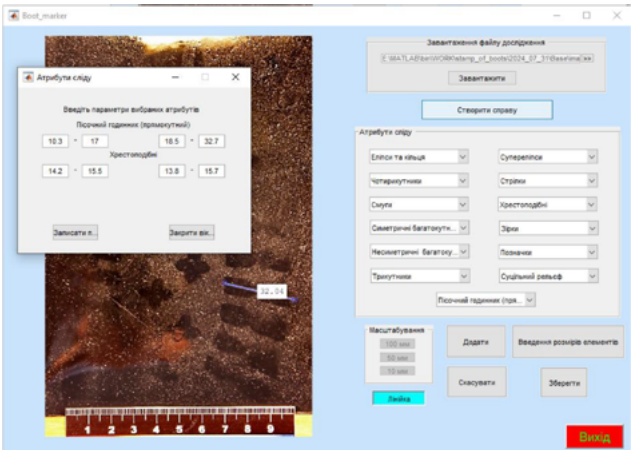

Рис. 7
Вікно внесення діапазону розмірних характеристик елементів рисунка сліду взуття

За допомогою кнопки «Скасувати», що внизу інтерфейсу програмного застосунку, можна послідовно скасувати всі операції, виконані під час завантаження сліду в інформаційному ресурсі лише до натискання на кнопку «Зберегти», яка слугує для збереження даних до інформаційного ресурсу автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття. Інформаційний ресурс зберігається в каталозі «Base», створюваному в каталозі, у якому інстальовано окремий застосунок запропонованого програмного комплексу. Структура інформаційного ресурсу становить окремі зображення слідів взуття з нумерацією відповідно до ID Інформаційного ресурсу та файлу кодування слідів взуття у вигляді багатовимірного масиву (рис. 8, 9).

Щоб вийти з програмного застосунку, натискають на кнопку «Вихід» або «X» угорі праворуч.

Запропонований окремий застосунок програмного комплексу дає змогу створювати та доповнювати інформаційний ресурс даних у межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття для подальшого проведення перевірок слідів взуття. Аналізуванню окремого застосунку програмного комплексу, який відповідає за роботу безпосередньо зі створеним інформаційним ресурсом, пошуком і порівнянням слідів взуття, присвячуватиметься наступна стаття із серії запланованих за окресленою проблематикою.

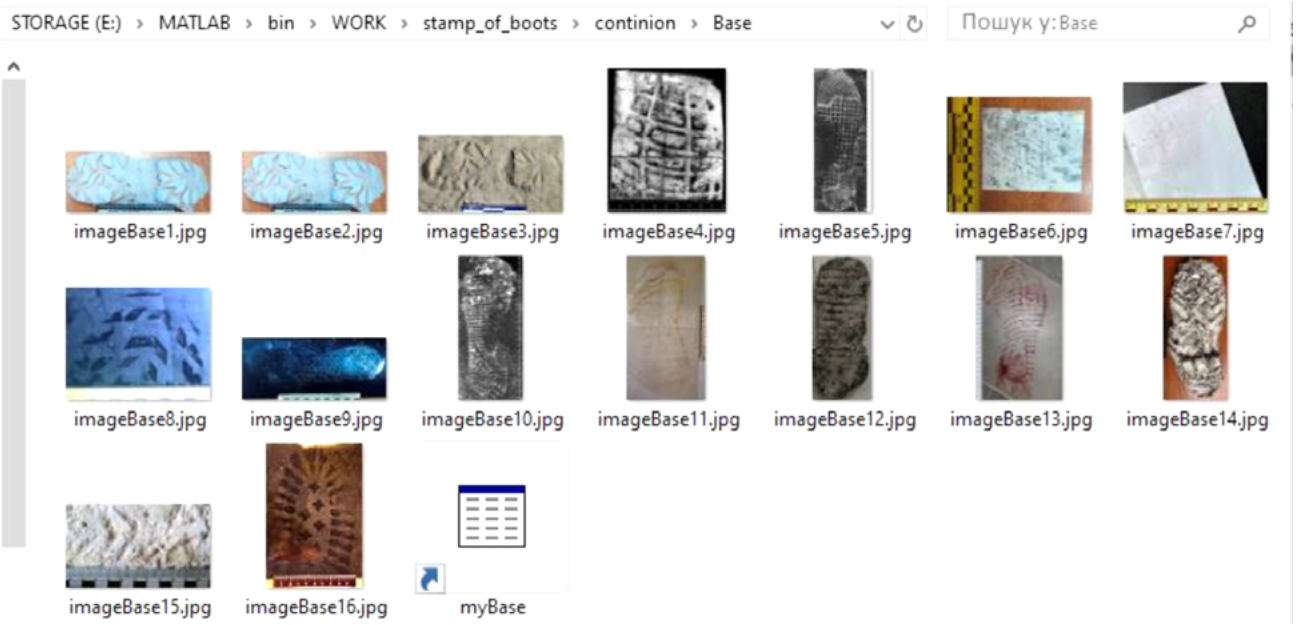

Рис. 8
Загальний вигляд каталогу «Base»

Fields	ID_Base	Param	name_Image	dataParam	Atribute_stamp	AtributeStampMatrix
1	1	1x1 struct	'D:\МАЙЄР\ДН...	1x13 double	1x17 cell	1x1 struct
2	2	1x1 struct	'D:\МАЙЄР\ДН...	1x13 double	1x17 cell	1x1 struct
3	3	1x1 struct	'D:\МАЙЄР\ДН...	1x13 double	1x9 cell	1x1 struct
4	4	1x1 struct	'D:\МАЙЄР\ДН...	1x13 double	1x3 cell	1x1 struct
5	5	1x1 struct	'D:\МАЙЄР\ДН...	1x13 double	1x3 cell	1x1 struct
6	6	1x1 struct	'D:\МАЙЄР\ДН...	1x13 double	'Паралелограм'	1x1 struct
7	7	1x1 struct	'E:\ЖИТОМИР...	1x13 double	1x2 cell	1x1 struct
8	8	1x1 struct	'E:\ЖИТОМИР...	1x13 double	'Довільна'	1x1 struct
9	9	1x1 struct	'E:\ЖИТОМИР...	1x13 double	'Рівнобедрений т...	1x1 struct
10	10	1x1 struct	'E:\КИЇВСЬКИЙ...	1x13 double	1x2 cell	1x1 struct
11	11	1x1 struct	'E:\ДНІПРОПЕТ...	1x13 double	1x4 cell	1x1 struct
12	12	1x1 struct	'E:\ДНІПРОПЕТ...	1x13 double	'Пряма'	1x1 struct
13	13	1x1 struct	'E:\МИКОЛАЇВ...	1x13 double	1x3 cell	1x1 struct
14	14	1x1 struct	'E:\ВОЛИНСЬК...	1x13 double	1x3 cell	1x1 struct
15	15	1x1 struct	'E:\ЧЕРКАСЬКИ...	1x13 double	'Ламана'	1x1 struct
16	16	1x1 struct	'E:\MATLAB\bin...	1x13 double	1x2 cell	1x1 struct

Рис. 9
Структура файлу кодування даних слідів взуття

До недоліків окремого застосунку програмного комплексу можна віднести великий розмір одного з видів дистрибутивних файлів, що пов'язано зі значною кількістю додаткових бібліотек, необхідних для правильної роботи програмного застосунку, та відносна складність кодування рисунка слідів взуття.

Висновки

Схарактеризовано основні ідеї та принципи, що становлять підґрунтя роботи окремого застосунку оригінального програмного комплексу, визначено завдання, як-то: створення зручної системи введення та збереження даних дослідження; створення основи реєстраційної картки для слідів взуття; формування єдиного масштабу зображень слідів взуття; створення шаблону назв елементів рисунка для кодування геометричної форми елементів рисунка, відображеному в сліді взуття; забезпечення можливості вимірювання розмірних характеристик елементів рисунка, відображеному в сліді взуття; формування інформаційного ресурсу для подальшого порівняльного дослідження слідів взуття в межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття. Сформульовано вимоги до

зображень слідів, що підлягають уміщенню до загального інформаційного ресурсу автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття (формат зображення, використання масштабної лінійки, роздільна здатність зображення). Роботу програмного застосунку унаочнено на прикладі вміщення до обліку сліду взуття. Цим науковим доробком розпочато серію статей щодо функціонування автоматизованого обліку слідів взуття.

Подяки

Немає.

Конфлікт інтересів

Немає.

References

[1] *ADIS «DAKTO» Avtomatyzovana daktyloskopichna identyfikatsiina systema.* (n.d.). Ekspertni systemy [in Ukrainian]. http://es-trade.kiev.ua/uk/afis-dakto-automated-fingerprint-identification-system.6X6zX7/

[2] Afonin, D. S., Hora, I. V., Kolesnyk, V. A., Popovych, I. I., & Kuchynska, I. V. (2022). On the Possibilities of Using Some Modern Three-Dimensional Modeling Means in Forensic Examination. *Journal of Forensic Science and Medicine, 8*(1), 17–23. DOI: https://doi.org/10.4103/jfsm.jfsm_57_21

[3] Babu, S. B. G. T., & Rao, C. S. (2021). An optimized technique for copy-move forgery localization using statistical features. *ICT Express*, (8), 244–249. DOI: https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.08.016

[4] Baiker-Sørensen, M., Herlaar, K., Keereweer, I., Pauw-Vugts, P., & Visser, R. (2020). Interpol review of shoe and tool marks 2016–2019. *Forensic Science International: Synergy*, (2), 521–539. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2020.01.016

[5] *BalScan*. (n.d.). Laboratory Imaging s.r.o. Forensic Examination Systems. https://www.forensic.cz/en/products/balscan

[6] Bennett, P. J. (2011). Optimising collection of footprint evidence from crime scenes and suspects. *Journal of Foot and Ankle Research, 4*(S1). DOI: https://doi.org/10.1186/1757-1146-4-s1-p3

[7] Bennett, M. R., & Budka, M. (2019). *Digital Technology for Forensic Footwear Analysis and Vertebrate Ichnology*. Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93689-5

[8] Bukhonskyi, S. (2020). Shchodo priorytetnykh napriamiv rozrobky suchasnoi systemy kryminalistychnoho obliku [On the prioritive directions of the development of the modern system of criminalistic record]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Viiskovo-spetsialni nauky, 2*(44), 39–41 [in Ukrainian]. DOI: https://doi.org/10.17721/1728-2217.2020.44.39-41

[9] Devishree, D. S., Divakar, K. M., Ashini, K. A., Bhardwaj, A. S., & Younis, S. M. (2019). Crime scene prediction and analysing its accuracy with frames using deep neural network. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, 5*(2), 860–866. https://www.ijariit.com/manuscripts/v5i2/V5I2-1604.pdf

[10] Drzewiecka, K., & Rogoża, E. (2021). Registration of fingerprints with TrasoScan System. *Issues of Forensic Science*, (313), 13–19. DOI: https://doi.org/10.34836/pk.2021.313.2

[11] Dua, S., Singh, J., & Parthasarathy, H. (2020). Detection and localization of forgery using statistics of DCT and Fourier components. *Signal processing: Image Communication*, (82), 115778. DOI: https://doi.org/10.1016/j.image.2020.115778

[12] Ferreira, W. D., Ferreira, C. B., da Cruz, J., G., & Soares, F. (2020). A review of digital image forensics. *Computers & Electrical Engineering*, (85), 106685. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106685

[13] Hora, I., & Kolesnyk, V. (2020). Use of modern expert technologies for decision of separate tasks in traditional criminalistics examinations. *Criminalistics and Forensics*, (65), 26–39. DOI: https://doi.org/10.33994/kndise.2020.65.03

[14] *Image Processing Toolbox*. (n.d.). MathWorks. https://www.mathworks.com/products/image.html

[15] Jang, M., Park, S., & Carriquiry, A. (2023). A finely tuned deep transfer learning algorithm to compare outsole images. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal, 16*(6), 511–527. DOI: https://doi.org/10.1002/sam.11636

[16] Kellett, D., Zolghadriha, S., Morgan, R., Lagnado, D., & Nakhaeizadeh, S. (2024). Forensic footwear examination: A systematic review of the existing literature. *Forensic science international*, (365), 112295. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.112295

[17] *MATLAB Runtime*. (n.d.). MathWorks. https://www.mathworks.com/products/compiler/matlab-runtime.html

[18] Ministerstvo vnutrishnikh sprav Ukrainy. (2020, Lypen 03). *Instruktsiia pro tymchasovyi poriadok funktsionuvannia obliku slidiv, vidbytkiv paltsiv ta dolon ruk v Ekspertnii sluzhbi Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrainy*: zatverdzheno nakazom (No 16-EC-H) [in Ukrainian].

[19] Nowroozi, E., Dehghantanha, A., Parizi, R. M., & Choo, K.-K. R. (2021). A survey of machine learning techniques in adversarial image forensics. *Computers & Security*, (100), 102092. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.102092

[20] Raffel, C., Shazeer, N., Roberts, A., Lee, K., Narang, S., Matena, M., Zhou, Y., Li, W., & Liu, P. J. (2020). Exploring the limits of transfer learning with unified text-to-text transformer. *The Journal of Machine Learning Research*, *21*(1), 5485–5551. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.10683

[21] Reel, S., Harris, R., Reidy, S., & Chambers, J. (2022). The application of TreadMatch scans to aid the process of footwear mark comparison. *Science & Justice: journal of the Forensic Science Society, 62*(5), 530–539. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scijus.2022.07.011

[22] Rombovsky, M., & Radchenko, R. (2019). Avtomatyzatsiia rozpiznavannia oblasti doslidzhennia pry slabko kontrastnykh mezhakh na zobrazhenni prozorykh obiektiv [Automation of research area recognition under weak-contrast borders on a picture of transparent objects]. *Theory and Practice of Forensic Science and Criminalistics, 19*(1), 568–580 [in Ukrainian]. DOI: https://doi.org/10.32353/khrife.1.2019.45

[23] Rombovskyi, M. Yu., & Koval, V. V. (2023). Avtomatyzatsiia vyznachennia hustyny ploskykh obiektiv zi skladnym konturom poverkhni yak zahalnoi oznaky u kryminalistychnykh doslidzhenniakh [Automation of determining density of flat objects with complex surface contours as a general feature in forensic investigations]. *Kryminalistychnyi visnyk, 2*(40), 88–97 [in Ukrainian]. DOI: https://doi.org/10.37025/1992-4437/2023-40-2-88

[24] Shafique, S., Kong, S., & Fowlkes, C. (2024). *CriSp: Leveraging Tread Depth Maps for Enhanced Crime-Scene Shoeprint Matching* (Version 2). arXiv. DOI: https://doi.org/10.48550/ARXIV.2404.16972

[25] Shepitko, V. (2022). Formuvannia doktryny kryminalistyky ta sudovoi ekspertyzy v Ukraini – shliakh do yedynoho yevropeiskoho kryminalistychnoho prostoru [Formation of the doctrine of criminalistics and forensic science in Ukraine: the way to a unified European criminalistic space]. *Pravo Ukrainy*, (2), 76–90 [in Ukrainian]. DOI: https://doi.org/10.33498/louu-2022-02-076

[26] *SICAR® 6. Saint-Tech – Discover Science Together With Us.* (n.d.). https://saint-tech.lv/pdf/security/A%20complete%20solution%20to%20the%20identification%20and%20casework%20management%20of%20shoe%20prints%20SICAR-6.pdf

[27] Stoykova, S., & Shakev, N. (2023). Artificial Intelligence for Management Information Systems: Opportunities, Challenges, and Future Directions. *Algorithms, 16*(8), 357. DOI: https://doi.org/10.3390/a16080357

[28] *TrasoScan. System for Shoeprint and Fingerprint Examination.* (n.d.). Laboratory Imaging s.r.o. Forensic Examination Systems. https://www.forensic.cz/en/products/trasoscan

[29] Zholtanska, I. I., & Stepura, S. A. (2021). *Trasolohichne doslidzhennia slidiv nyzu vzuttia:* metod. rek. Kyiv: DNDEKTs MVS Ukrainy [in Ukrainian].

Список використаних джерел

[1] АДІС «ДАКТО» Автоматизована дактилоскопічна ідентифікаційна система. *Експертні системи*. URL: http://es-trade.kiev.ua/uk/afis-dakto-automated-fingerprint-identification-system.6X6zX7/

[2] Afonin D. S., Hora I. V., Kolesnyk V. A., Popovych I. I., Kuchynska I. V. On the Possibilities of Using Some Modern Three-Dimensional Modeling Means in Forensic Examination. *Journal of Forensic Science and Medicine*. 2022. No 8(1). P. 17–23. DOI: https://doi.org/10.4103/jfsm.jfsm_57_21

[3] Babu S. B. G. T., Rao C. S. An optimized technique for copy-move forgery localization using statistical features. *ICT Express*. 2021. Vol. 8. P. 244–249. DOI: https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.08.016

[4] Baiker-Sørensen M., Herlaar K., Keereweer I., Pauw-Vugts P., Visser R. Interpol review of shoe and tool marks 2016–2019. *Forensic Science International: Synergy*. 2020. Vol. 2. P. 521–539. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2020.01.016

[5] BalScan. *Laboratory Imaging s.r.o. Forensic Examination Systems*. URL: https://www.forensic.cz/en/products/balscan

[6] Bennett P. J. Optimising collection of footprint evidence from crime scenes and suspects. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2011. Vol. 4(S1). P. 3. DOI: https://doi.org/10.1186/1757-1146-4-s1-p3

[7] Bennett M. R., Budka M. Digital Technology for Forensic Footwear Analysis and Vertebrate Ichnology. Cham : Springer, 2019. 251 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93689-5

[8] Бухонський С. Щодо пріоритетних напрямів розробки сучасної системи криміналістичного обліку. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 2020. № 2(44). С. 39–41. DOI: https://doi.org/10.17721/1728-2217.2020.44.39-41

[9] Devishree D. S., Divakar K. M., Ashini K. A., Bhardwaj A. S., Younis S. M. Crime scene prediction and analysing its accuracy with frames using deep neural network. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*. 2019. No 5(2). P. 860–866. URL: https://www.ijariit.com/manuscripts/v5i2/V5I2-1604.pdf

[10] Drzewiecka K., Rogoża E. Registration of fingerprints with TrasoScan System. *Issues of Forensic Science*. 2021. No 313. P. 13–19. DOI: https://doi.org/10.34836/pk.2021.313.2

[11] Dua S., Singh J., Parthasarathy H. Detection and localization of forgery using statistics of DCT and Fourier components. *Signal processing: Image Communication.* 2020. No 82. Art. 115778.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.image.2020.115778
[12] Ferreira W. D., Ferreira C. B., da Cruz J. G., Soares F. A review of digital image forensics. *Computers* & *Electrical Engineering.* 2020. No 85. Art.106685.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106685
[13] Hora I., Kolesnyk V. Use of modern expert technologies for decision of separate tasks in traditional criminalistics examinations. *Criminalistics and Forensics*. 2020. No 65. P. 26–39.
DOI: https://doi.org/10.33994/kndise.2020.65.03
[14] Image Processing Toolbox. *MathWorks.*
URL: https://www.mathworks.com/products/image.html
[15] Jang M., Park S., Carriquiry A. A finely tuned deep transfer learning algorithm to compare outsole images. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal*. 2023. No 16(6). P. 511–527.
DOI: https://doi.org/10.1002/sam.11636
[16] Kellett D., Zolghadriha S., Morgan R., Lagnado D., Nakhaeizadeh S. Forensic footwear examination: A systematic review of the existing literature. *Forensic Science International*. 2024. No 365. Art. 112295.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.112295
[17] MATLAB Runtime. *MathWorks*.
URL: https://www.mathworks.com/products/compiler/matlab-runtime.html
[18] Інструкція про тимчасовий порядок функціонування обліку слідів, відбитків пальців та долонь рук в Експертній службі Міністерства внутрішніх справ України : затв. наказом МВС України від 03.07.2020 № 16-ЕС-Н.
[19] Nowroozi E., Dehghantanha A., Parizi R. M., Choo K.-K. R. A survey of machine learning techniques in adversarial image forensics. *Computers* & *Security*. 2021. Vol. 100. P. 102092.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.102092
[20] Raffel C., Shazeer N., Roberts A., Lee K., Narang S., Matena M., Zhou Y., Li W., Liu P. J. Exploring the limits of transfer learning with unified text-to-text transformer. *The Journal of Machine Learning Research*. 2020. No 21(1). P. 5485–5551.
DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.10683
[21] Reel S., Harris R., Reidy S., Chambers J. The application of TreadMatch scans to aid the process of footwear mark comparison. *Science* & *Justice : journal of the Forensic Science Society*. 2022. No 62(5). P. 530–539.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.scijus.2022.07.011
[22] Ромбовський М. Ю., Радченко Р. В. Автоматизація розпізнавання області дослідження при слабко контрастних межах на зображенні прозорих об'єктів. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики.* 2019. № 19(1). С. 568–580.
DOI: https://doi.org/10.32353/khrife.1.2019.45
[23] Ромбовський М. Ю., Коваль В. В. Автоматизація визначення густини плоских об'єктів зі складним контуром поверхні як загальної ознаки у криміналістичних дослідженнях. *Криміналістичний вісник*. 2023. № 2(40). С. 88–97.
DOI: https://doi.org/10.37025/1992-4437/2023-40-2-88
[24] Shafique S., Kong S., Fowlkes C. CriSp: Leveraging Tread Depth Maps for Enhanced Crime-Scene Shoeprint Matching (Version 2). arXiv. 2024
DOI: https://doi.org/10.48550/ARXIV.2404.16972
[25] Шепітько В. Формування доктрини криміналістики та судової експертизи в Україні – шлях до єдиного європейського криміналістичного простору. *Право України*. 2022. № 2. С. 76.
DOI: https://doi.org/10.33498/louu-2022-02-076
[26] SICAR®6. Saint-Tech – Discover Science Together With Us.
URL: https://saint-tech.lv/pdf/security/A%20complete%20solution%20to%20the%20identification%20and%20case-work%20management%20of%20shoe%20prints%20SICAR-6.pdf
[27] Stoykova S., Shakev N. Artificial Intelligence for Management Information Systems: Opportunities, Challenges, and Future Directions. *Algorithms*. 2023. Vol. 16. No. 8. P. 357.
DOI: https://doi.org/10.3390/a16080357
[28] TrasoScan. System for Shoeprint and Fingerprint Examination. *Laboratory Imaging s.r.o. Forensic Examination Systems.*
URL: https://www.forensic.cz/en/products/trasoscan
[29] Жолтанська І. І., Степура С. А. Трасологічне дослідження слідів низу взуття : метод. рек. Київ : ДНДЕКЦ МВС України, 2021. 43 с.

Стаття надійшла до редакції 02.06.2025
Рецензовано 13.10.2025

M. Rombovsky,
Cand. Sc. (Physics and Mathematics),
Senior Forensic Expert at Trasological Sector
Research of the forensic research department,
Sumy Scientific Research Forensic Center, MIA of Ukraine
8 Promyslova St., Sumy, 40007, Ukraine
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2296-3452
email: rombovsky_m@ukr.net
phone: +38(066)959-29-64
V. Koval,
Cand. Sc. (Physics and Mathematics),
Senior Lecturer, Department of Cyber Security,
Sumy State University
116 Kharkivska St., Sumy, 40000, Ukraine
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1593-5605
email: koval_vit@ukr.net
M. Mayer,
Deputy Head of the Trace and Fingerprint Accounting Department,
Laboratory of Traceology, Fingerprinting and Accounting
State Scientific Research Expert and Forensic Center,
MIA of Ukraine
4 Velyka Kiltseva St., Petropavlivska Borshchahivka Vlg,
Buchanskyi Dist., Kiev Region, 08130, Ukraine
email: maksimmayer@gmail.com

AUTOMATION OF CRIMINALISTIC FOOTWEAR TRACE REGISTRATION IN THE FORENSIC SERVICE

REPORT 1

CREATION A DEDICATED APPLICATION OF THE SOFTWARE SUITE FOR AUTOMATED FOOTWEAR TRACE REGISTRATION FOR FORM AN INFORMATION RESOURCE OF THE MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS OF UKRAINE

Abstract. This article inaugurates a series devoted to the operation of an automated footwear-imprint registration system. It highlights the functionality of a dedicated application within a proprietary software suite developed on the MATLAB programming and numerical-computing platform. The application enables the creation of an image-based information resource of footwear impressions for subsequent verification within the automated footwear-trace registration system of the Forensic Service of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, and substantiates the feasibility of its use. The study employed a range of methods, including a mathematical approach for acquiring and structuring data and performing conversion calculations; logical methods of synthesis and analysis; a statistical method to reveal interaction patterns among data elements; and generalization techniques. The scientific novelty lies in justifying the use of a stand-alone application of the original software package to generate an information resource of footwear traces for automated forensic registration. The approach incorporates a template for coding the names of elementary tread patterns and entering their dimensional characteristics in a unified scale. The application relies on techniques for forming a multidimensional-matrix information resource and for mathematically transforming image scales to a common reference system, as well as coding objects using a predefined element-name template. The MATLAB programming and numerical-computing environment, supplemented by the Image Processing Toolbox, served as the development platform. The paper also outlines the key concepts and principles underlying the application's operation and specifies the tasks addressed, namely: creating a user-friendly system for input and storage of research data; designing a prototype registration card for footwear impressions; ensuring a unified image scale for all footwear-trace images; developing a template of tread-element names for coding geometric shapes; enabling measurements of the dimensional characteristics of tread elements; building an information resource to support subsequent comparative examinations of footwear impressions within the automated forensic registration system of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine. Requirements are formulated for the images to be incorporated into the central footwear-trace database (image format, scale bar, and resolution). The application's operation is illustrated with an example of registering a footwear trace. Future research directions include improving the client module of the application, designing a standardized registration card in accordance with regulatory documents, and developing an automated system for determining the shape and dimensional characteristics of tread elements when integrating data into the unified database.

Keywords: graphic image; verification; general characteristic; coding; MATLAB; Image Processing Toolbox.