



material earlier. It allows to repeat a form of the object presented for examination at the time of a criminal shot. **Experimental part.** The study consisted of experimental firing, evaluation of the morphology of gunshot injuries and comparison of the topography of the distribution of gunshot residue in the area of gunshot injuries. **Discussion of results.** The analysis of traces of a close shot on flat and curved targets has allowed to establish distinctions of signs of influence of a gas-powder stream, thermal and mechanical effect of powder grains, adjournment of a soot. **Conclusions.** Found that when firing AKS-74U on flat targets and targets that are installed on the removable element, bent to the desired shape, there are differences in the morphological characteristics of gunshot injuries and topography sediment traces close shot. Thus, the use of the proposed device, comprising a removable element for attachment of the target, the shape of which follows the shape of the outer surface of the investigated object allows to obtain more accurate information about the gunshot residue in studies of objects with a complex shape of the outer surface.

**Key words:** forensic ballistics examination, device for experimental shooting, targets of complex shape, establishment of a distance shot, morphology of gunshot injuries, topography fat product shots.

## References

1. *Kriminalisticheskaja ekspertiza oruzhiia i sledov ego primeneniia*: uchebник. 2-e izd. Ch.1 / pod red.

- V. A. Ruchkina, I. A. Chulkova [Forensic examination of arms and traces. Textbook. 2nd ed. Pt. 1. Ed. by V. A. Ruchkin, I. A. Chulkov]. Volgograd, VA MVD Rossii, 2011. 316 p.
2. *Ustroistvo dlia eksperimental'noi strel'by*: pat. 146737 Ros. Federaciia. № 2014127038/28; zaiavlen 02.07.2014; opublikovan 20.10.2014. *Biuletен' № 29. 2 p.* [The device for experimental shooting. Patent 146737 Russian Federation. № 2014127038/28; declared 02.07.2014; published 20.10.2014. Bulletin № 29. 2 p.].
3. *Ustroistvo dlia eksperimental'noi strel'by*: pat. № 2090829 Ros. Federaciia. № 95103383/02; zaiavlen 07.03.1995; opublikovan 27.03.2002. *Biuletен' № 8. 3 p.* [The device for experimental shooting. Patent 2090829 Ros. Federaciia. № 95103383/02; declared 07.03.1995; published 27.03.2002. Bulletin № 8. 3 p.].
4. Andreev A. G., Latyshov I. V., Chulkov I. A. *Strelkovoe ognestrel'noe oruzhie i ego sledy na puliakh, gil'zakh i pregradakh*: spravocno-metodicheskoe posobie. Ch. 5. 5,45 mm avtomat Kalashnikova AKS-74U [Small firearms and their traces on bullets, cartridge cases and obstacles. Handbook. Pt. 5. The 5.45 mm Kalashnikov AKS-74U]. Volgograd, VA MVD Rossii, 2005. 80 p.

УДК 343.9, 004.932

## СРАВНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЛЕДОВ БОЙКОВ С ДОМИНИРУЮЩИМИ ПРИЗНАКАМИ В ВИДЕ ОКРУЖНОСТЕЙ И ДУГ

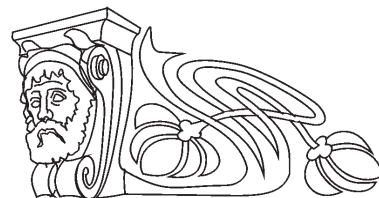
### В. А. Федоренко

кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией криминалистического материаловедения, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского  
E-mail: fed77@yandex.ru

### М. В. Корнилов

кандидат физико-математических наук, программист учебно-научной лаборатории криминалистического материаловедения, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского  
E-mail: kornilovmv@gmail.com

**Введение.** Разработка алгоритмов автоматического сравнения цифровых изображений следов бойков является актуальной задачей, направленной на повышение эффективности расследования преступлений, связанных с применением огнестрельного оружия. В данной работе рассматриваются следы бойков с ярко выраженными признаками в виде окружностей и дуг, которые имеют единый центр. Для оценки степени схожести следов в работе предложен метод, основанный на оценке в сравниваемых следах Евклидова расстояния между радиусами наиболее схожих признаков. **Предварительная обработка.** Для исключения негативного влияния шумов и различных артефактов изображения подвергались предварительной обработке. Информативные признаки выделялись маркерами, позволяющими точно определить радиусы соответствующих признаков. **Методика поиска**



**парных следов.** Для оценки потенциально парных следов был разработан критерий на основе вычисления модифицированного Евклидова расстояния. Сформулированы критерии формирования приоритетного списка. **Численный эксперимент.** Проводился поиск парных следов по базе данных, состоящей из 60 объектов. В 90% случаев след, парный к тестовому, оказывался в первой четверке приоритетного списка. **Выводы.** Предложенный алгоритм позволяет достаточно быстро и эффективно проводить сортировку объектов тестового массива по степени сходства их признаков в виде дуг и окружностей с соответствующими признаками исследуемого следа.

**Ключевые слова:** идентификация оружия, следы бойков, цифровые изображения, Евклидово расстояние, дескрипторы.

DOI: 10.18500/1994-2540-2016-16-2-197-202

### Введение

Разработка алгоритмов автоматического сравнения цифровых изображений следов бойков является актуальной задачей, направленной



на повышение эффективности расследования преступлений, связанных с применением огнестрельного оружия. В данной работе рассматриваются следы бойков с ярко выраженными признаками в виде окружностей и дуг, которые имеют один центр и характерны для таких видов оружия, как пистолет Макарова (рис. 1, а), ИЖ-71 и их аналогов. Такие особенности микро рельефа на поверхности бойка появились вследствие его механической обработки режущим инструментом и поэтому могут рассматриваться как следы производственных механизмов. Они обычно являются доминирующими, поэтому процесс сравнения следов приходится начинать с анализа данных признаков. При этом необходимым (но недостаточным) условием парности таких следов (т.е. условием, что следы оставлены одним бойком) является совпадение комплексов признаков в виде наборов окружностей и дуг (рис. 1, б).

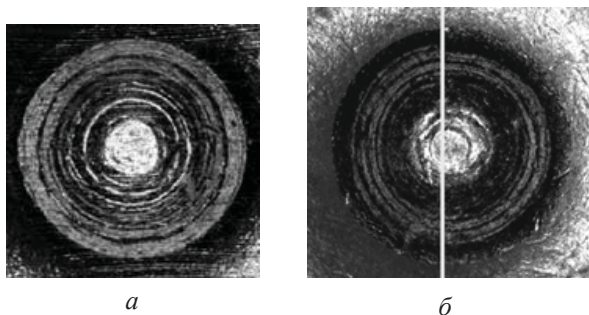


Рис. 1. Типичные следы бойков с доминирующими признаками в виде окружностей: а – след бойка пистолета Макарова; б – совмещение признаков двух следов, оставленных одним бойком пистолета Макарова

В работе [1] цифровые изображения следов бойков предлагается сравнивать путем нахождения функции взаимной корреляции (ФВК). Однако доминирующие градиенты яркости часто обусловлены неравномерностью освещения, сложным профилем следа бойка, наличием на исследуемой поверхности окислов и др. Поэтому метод сравнения изображений следов с такими доминирующими признаками путем построения ФВК не является эффективным.

В работе [2] для сравнения изображений следов с индивидуализирующими признаками в виде пятен неопределенной формы предложено применять контурный анализ. Данный метод хорошо себя зарекомендовал для различных типов контуров кроме признаков, по форме близких к окружности.

В данной работе степень криминалистического сходства сравниваемых изображений предлагается оценивать по Евклидову расстоянию,

рассчитанному для комплексов наиболее близких сравниваемых признаков – окружностей. Чем меньше суммарное расстояние между наборами сравниваемых признаков, тем выше степень их сходства. На рис. 2 схематично представлено совмещение изображений двух следов бойка с индивидуальными особенностями в виде концентрических окружностей. Видно, что признаки  $A_1, A_2, A_3$  одного следа совмещаются с признаками  $B_1, B_2, B_4$  другого. Следует отметить, что в данной ситуации признак  $B_3$  (выделен пунктиром) оказался «лишним» или явно непарным.

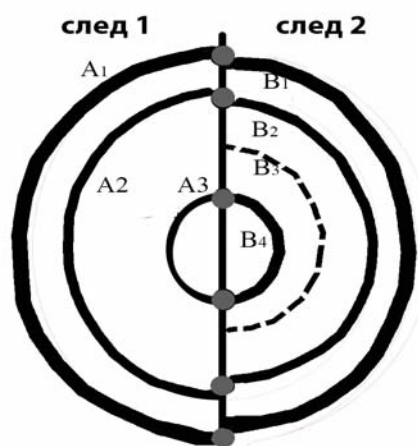


Рис. 2. Сравнение признаков в виде дуг и окружностей методом совмещения

Для реализации данного метода были решены следующие задачи:

- для каждого изображения сформированы комплексы идеализированных признаков в виде окружностей;
- определен критерий потенциальной парности признаков сравниваемых следов с учетом их вариативности;
- рассчитаны расстояния между признаками сравниваемых изображений;
- разработан алгоритм формирования приоритетного списка по степени схожести наборов признаков.

Рассмотрим более подробно решение каждой задачи.

#### Предварительная обработка

На первом этапе при формировании тестового массива, чтобы исключить негативное влияние шумов и различного рода артефактов на выделение индивидуализирующих особенностей, оператор вручную на каждом признаке выделяет по несколько точек (в среднем от 5 до 7). При этом точки могут относиться к разным несвязанным областям одного выбранного при-



знака. Далее программа перебором различных комбинаций трех точек, относящихся к одному признаку, строит серию окружностей, по которым находит среднее значение диаметра. Таким образом определяется значение диаметра каждого признака независимо от того, представлен он в виде окружности или в виде короткой дуги. Значения диаметров и являются численными

характеристиками признаков, представленных в виде дуг или окружностей на изображении. В результате для каждого следа бойка была сформирована таблица средних значений диаметров всех выделенных признаков (рис. 3). Центральное светлое пятно, присутствующее на каждом изображении, не учитывалось, поскольку оно обычно является световым бликом.

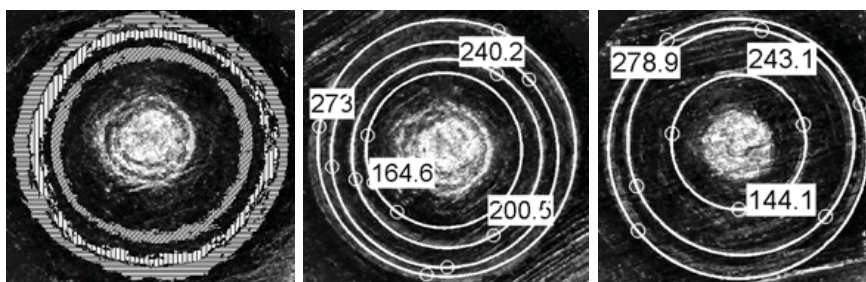


Рис. 3. Следы с признаками, выделенными в виде окружностей; цифрами отмечены значения (в пикселях) диаметров окружностей

Анализ изображений парных следов показал, что у абсолютного большинства совпадающих признаков средние значения диаметров достаточно точно совпадают (рис. 4, а). Поэтому для вычисления расстояния  $\Delta d$  использовались только те признаки, значения диаметров которых отличались друг от друга не более чем на 6% от общего разрешения изображения. В данной работе рассматривались изображения с разрешением  $350 \times 350$  пикселей, соответственно, допустимое различие диаметров составило 21 пиксель. Такой допуск обусловлен тем, что одни и те же неоднородности рельефа бойка,

отобразившиеся в виде признаков в разных следах, должны достаточно точно совмещаться. Возможное отличие диаметров парных признаков может быть обусловлено в основном тем, что они способны иметь разную ширину и выраженность на разных следах (рис. 4, б). Причиной могут быть разные механические свойства рабочей поверхности капсулей, наличие лакового покрытия или окислов на их поверхности и т.д. Поэтому нельзя исключить ситуацию, когда на одном изображении особенности рельефа бойка отобразились полностью, а на другом нет (рис. 4, в).

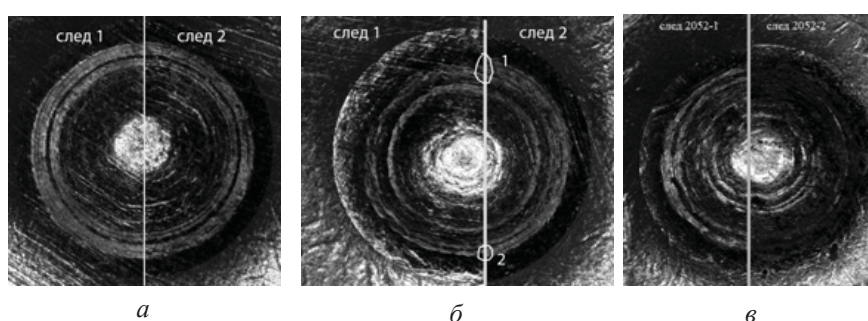


Рис. 4. Изображения с парными признаками: а – с совпадающими характеристиками (диаметр, ширина, выраженность) признаков; б – с различающейся шириной (отм. 1 и 2); в – с несовпадающим числом признаков

#### Методика поиска парных следов

Алгоритм определения потенциально парных признаков заключается в следующем. В сравниваемых следах ищутся признаки с наиболее близкими значениями диаметров. При этом

каждый признак одного изображения может быть соотнесен как потенциально парный только к одному признаку другого изображения. Из практического опыта следует, что среднее значение диаметров парных признаков не может отличаться



более чем на 6%. Поэтому сравниваются между собой те особенности, которые удовлетворяют данному условию, а из них уже связываются как потенциально парные только те, которые имеют минимальную разницу диаметров.

В результате применения данного правила некоторые признаки могут оказаться непарными из-за большого различия диаметров и не быть связанными ни с одним признаком другого сравниваемого следа (см. рис. 2). Такого рода особенности считаются пропущенными (не связанными), информация об их числе в сравниваемых следах фиксируется и учитывается на последнем этапе при формировании приоритетного списка.

Для каждой пары сравниваемых следов рассчитывается Евклидово расстояние для потенциально парных признаков по формуле:

$$\Delta d = \frac{1}{M} \sqrt{\sum [A_i - B_j]^2},$$

где  $A$  и  $B$  – средние значения диаметров потенциально парных признаков исследуемого и тестового объектов соответственно;  $i$  – порядковый номер признака (первым по счету является признак с максимальным значением диаметра) исследуемого объекта;  $j$  – порядковый номер признака объекта из тестового массива, выбранный в соответствии с описанным выше критерием;  $M$  – число пар связанных признаков. Значение  $\Delta d$  нормируется на количество признаков, использованных для вычисления расстояния ( $M$ ).

Если бы условия формирования следов бойков были абсолютно идентичными, то присутствие непарных признаков говорило бы о том, что следы оставлены разными бойками. Однако, как уже отмечалось, из-за существующей вариативности отображения признаков рельефа бойка в отдельных случаях может наблюдаться несовпадение числа выделенных окружностей в заведомо парных следах (см. рис. 4, в). Поэтому при формировании приоритетного списка приходилось учитывать и те изображения, для которых наблюдаются один-два несвязанных признака. Анализ заведомо парных изображений, имеющих в базе данных, показал: если несвязанных признаков три и более, то вероятность, что такие следы являются парными, пренебрежимо мала и поэтому в формировании приоритетного списка они не участвуют.

Формирование приоритетного списка проводится по следующим критериям:

а) чем меньше значение  $\Delta d$ , тем более схожи наборы признаков-окружностей сравниваемых следов и тем выше положение тестового объекта в приоритетном списке;

б) все объекты тестового массива, сравнение которых с исследуемым изображением характеризуется тремя и более пропущенными признаками, исключаются из формирования приоритетного списка;

в) приоритетность следов тестового массива, характеризующихся отсутствием или наличием одного несвязанного признака, определяется значением  $\Delta d$  в соответствии с п. б), т.е. как и для следов с полностью совпадающим числом признаков;

г) следы со всеми совпадающими признаками или одним несовпадающим имеют приоритет перед следами с двумя несвязанными признаками, если их значение  $\Delta d$  не превышает в 2 раза соответствующее значение для изображений с двумя несвязанными признаками.

### Численный эксперимент

В соответствии с разработанным алгоритмом была написана программа для среды Matlab [3], с помощью которой проводилась проверка по 50 исследуемым следам по тестовому массиву, включающему 60 объектов. Для каждого исследуемого следа в базе данных имелся парный след. В результате проверки формировался приоритетный список. В качестве иллюстрации приоритетные списки для части исследуемых следов представлены в таблице.

Численный эксперимент показал, что в 90% случаев след из тестового массива, парный к исследуемому, оказывался в первой четверке приоритетного списка. В случае, когда в базе данных находилось три парных следа, они оказывались в первой пятёрке приоритетного списка. В одном случае парный след оказался на одиннадцатом месте, однако это было связано с плохой выраженностью признаков в виде окружностей.

В результате тестирования было показано, что из 50 проверок на 1–3-е места в приоритетном списке были поставлены 43 парных следа, на 4–8-е места – 6 парных следов, и в одном случае парный след был поставлен на 11-е место. Данные результаты можно считать вполне успешными. Следует отметить, что дескрипторы, по которым проводится оценка схожести следов, не зависят от ориентации изображений.

Проведенный анализ позволил выявить в тестовом массиве следы бойков разных экземпляров пистолета Макарова с номерами РТ 0528 и РТ 0580 с одним и тем же набором признаков в виде окружностей (рис. 5). Вероятно, бойки данных экземпляров оружия были обработаны одним и тем же инструментом без перезаточки его режущей кромки. Это наглядно доказывает,



**Приоритетные списки к тестовым следам**

Инф. о следе/ № в приорит. списке	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>0528-1</b>											
Имя следа	0528-2	0580-1	1699-1	0580-2	2821-1	2139-4	2821-2	2901-2	1515-1	2901-1	1699-2
$\Delta d$	1.017	1.026	1.504	1.512	1.828	2.232	2.316	2.425	2.684	2.849	2.885
пропущенные	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1
<b>0528-2</b>											
Имя следа	0580-1	0528-1	0580-2	1699-1	2821-1	2821-2	1515-1	2901-2	2139-4	2256-2	2901-1
$\Delta d$	0.708	1.017	1.413	1.890	1.900	2.061	2.282	2.397	2.644	2.671	2.986
пропущенные	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
<b>0580-1</b>											
Имя следа	0528-2	0528-1	0580-2	2821-2	2821-1	1699-1	2901-2	2955-2	2139-4	1515-1	2256-2
$\Delta d$	0.708	1.026	1.443	2.011	2.133	2.577	2.807	1.379	2.835	2.877	2.950
пропущенные	0	0	0	1	1	1	1	2	1	1	0
<b>0580-2</b>											
Имя следа	2901-2	2337-1	2821-2	2821-1	0528-2	0580-1	0528-1	2901-1	2955-2	1784-2	1515-1
$\Delta d$	1.110	0.430	1.366	1.408	1.413	1.443	1.512	1.878	0.768	0.894	1.984
пропущенные	1	2	1	1	0	0	0	0	2	2	1
<b>2052-1</b>											
Имя следа	2139-1	2821-2	2139-2	3105-2	2955-1	2821-1	2139-4	2955-2	2269-4	2269-3	2052-2
$\Delta d$	1.020	1.032	1.132	1.176	1.188	1.212	1.326	1.432	1.609	1.674	1.752
пропущенные	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>2052-2</b>											
Имя следа	2821-2	2052-1	2139-2	2139-1	2821-1	2771-1	2771-2	2949-1	2049-2	2955-2	3105-2
$\Delta d$	1.691	1.752	1.797	2.146	2.157	2.455	2.499	2.550	2.793	1.316	2.812
пропущенные	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
<b>2139-1</b>											
Имя следа	2139-4	2139-2	2139-3	2052-1	2955-1	2821-2	2821-1	3105-2	2269-3	2269-1	2269-4
$\Delta d$	0.432	0.852	0.900	1.020	1.161	1.276	1.318	1.437	1.483	1.550	1.634
пропущенные	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
<b>2139-2</b>											
Имя следа	2139-4	2139-3	2821-2	2139-1	2955-1	2821-1	2052-1	2269-4	2955-2	3105-2	2269-3
$\Delta d$	0.573	0.774	0.804	0.852	0.978	1.002	1.132	1.593	1.619	1.625	1.691
пропущенные	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
<b>2139-3</b>											
Имя следа	2139-2	2139-4	2139-1	2771-2	3105-1	2697-1	2821-2	2052-1	2697-2	2821-1	2901-1
$\Delta d$	0.774	0.793	0.900	1.378	1.617	1.634	1.805	1.808	1.842	1.842	1.898
пропущенные	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>2139-4</b>											
Имя следа	2139-1	2139-2	2139-3	2821-1	2821-2	2052-1	2901-1	2697-1	3105-1	2955-1	2771-2
$\Delta d$	0.432	0.573	0.793	0.975	1.027	1.326	1.333	1.566	1.838	0.860	1.849
пропущенные	1	1	0	1	1	1	1	1	1	2	1



что идентификация оружия только по таким признакам некорректна и данная методика может быть применена, в первую очередь, для предварительной быстрой фильтрации изображений по отпечаткам в следах бойков следов обрабатывающих инструментов.

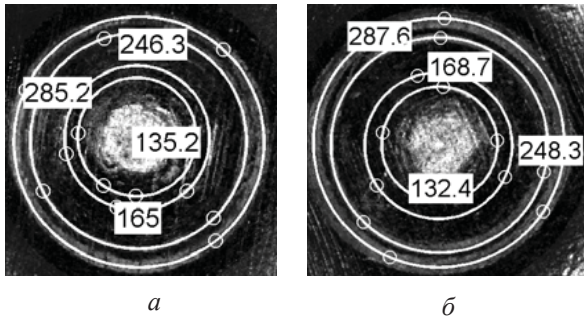


Рис. 5. Следы бойков пистолета Макарова с идентичными наборами признаков в виде окружностей и дуг с номерами: *a* – РТ 0528; *б* – РТ 0580

### Выводы

Таким образом, можно резюмировать, что предложенный алгоритм позволяет достаточно эффективно и быстро проводить сортировку объектов тестового массива по степени сходства их признаков в виде дуг и окружностей с соответствующими признаками исследуемого следа.

Проведенные исследования показали перспективность продолжения работ в данном направлении, и в первую очередь по учету признаков, имеющих случайный характер и обладающих большой идентификационной значимостью. К ним можно отнести разрывы, начала и окончания признаков в виде окружностей, локальные особенности микрорельефа следов бойков и т.д.

Работа представляет интерес для разработчиков программного обеспечения автоматизированных баллистических идентификационных систем, а также экспертов-криминалистов, специализирующихся в области идентификации огнестрельного оружия.

### Список литературы

1. Theodore V. Vorburger, James H. Yen, B. Bachrach, Thomas B. Renegar, Li Ma, Hyug-Gyo Rhee, Xiaoyu A. Zheng, Jun-Feng Song, Charles D. Foreman. Surface Topography Analysis for a Feasibility Assessment of a National Ballistics Imaging Database // NIST Interagency / Internal Report (NISTIR), 2007. 173 p.
2. Федоренко В. А., Корнилов М. В. Оценка схожести следов бойков огнестрельного оружия по их цифровым изображениям // Информационные технологии и компьютерные системы. 2015. № 3. С. 92–100.

вым изображениям // Информационные технологии и компьютерные системы. 2015. № 3. С. 92–100.

3. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins. Digital Image Processing Using MATLAB. Gatesmark Publishing, 2009. 827 p.

### The Comparison of Digital Images of Firing Pin with a Dominant Features in the Form of Circles and Arcs

V. A. Fedorenko

Saratov State University,  
83, Astrakhanskaya str., Saratov, 410012, Russia  
E-mail: fed77@yandex.ru

M. V. Kornilov

Saratov State University,  
83, Astrakhanskaya str., Saratov, 410012, Russia  
E-mail: kornilovmv@gmail.ru

**Introduction.** Development of the algorithms for the automatic comparison of the digital images of firing pin is an important task of the forensic examination. This task is aimed at improving the efficiency of crime investigation involving the use of firearms. In this paper images of firing pin with the features in the form of circles and arcs with single center are investigated. The method based on modified Euclidean distance between circles of the similar firing pin was proposed to assess the degree of similarity of the traces.

**Preliminary processing.** To eliminate the adverse effect of noise and various image artifacts were pretreated. Markers were placed to accurately determine the features in the form of circles. **Method of searching paired tracks.** Criteria based on modified Euclidean distance were developed for the formation of the priority list. **Numerical experiment.** In the numerical experiment database of 60 objects was used. Paired trace from firing pin array was included in top four of the prior list in 90 percent cases. **Conclusions.** The proposed algorithm allows to sort effectively and quickly the array of test objects by the degree of similarity of signs in the form of arcs and circles with relevant features of the test track.

**Key words:** weapon identification, firing pin traces, digital images, Euclidean distance, descriptor.

### References

1. Theodore V. Vorburger, James H. Yen, B. Bachrach, Thoma, B. Renegar, Li Ma, Hyug-Gyo Rhee Xiaoyu, A. Zheng, Jun-Feng Song, Charles D. Foreman. Surface Topography Analysis for a Feasibility Assessment of a National Ballistics Imaging Database. *NIST Interagency / Internal Report (NISTIR)*, 2007, 173 p.
2. Fedorenko V. A., Kornilov M. V. Otsenka skhozhesti sledov boikov ognestrel'nogo oruzhiia po ikh tsifrovym izobrazheniiam [Assessing similarities firing pin traces of firearms on their digital images]. *Informatsionnye nekhnologii i komp'uternye sistemy* [Information technologies and computer systems], 2015, no. 3, pp. 92–100.
3. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins. *Digital Image Processing Using MATLAB*. Gatesmark Publishing, 2009. 827 p.