



УДК 343.9.004.932

## КОМПЕНСАЦИЯ ИСКАЖЕНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЛЕДОВ НА ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПУЛЯХ ДЛЯ ИХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СРАВНЕНИЯ

В. А. Федоренко, К. О. Сорокина

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

Сорокина Ксения Олеговна, аспирант кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем», Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., lorredos@gmail.com

**Введение.** Целью работы является исследование возможности компенсации искажений, обусловленных деформацией пуль. **Теоретический анализ.** Рассмотрены пули с деформацией в виде локального кольцевого утолщения. Данный тип деформации является основой для компенсации более сложных искажений. Для компенсации искажений используется метод узловых точек. **Модельный эксперимент.** Для определения коэффициентов преобразования была использована модель деформированной 9 мм пули в масштабе 1:50. В ходе экспериментов была получена таблица коэффициентов преобразования для разных изменений диаметра. **Экспериментальные исследования.** Эксперименты были проведены для пуль, выстреленных из пистолета Макарова калибра 9 мм. Совмещение изображений недеформированной и деформированной пули до пересчета показало, что совпадающие (парные) признаки, расположенные ближе к краям изображения, не совмещаются. В результате компенсации искажений изображения следа на деформированной пуле совпадающие трассы практически полностью совместились. **Выводы.** Разработан алгоритм компенсации искажений изображений деформированных пуль. Данная система апробирована для симметричной деформации. Алгоритм может быть использован для компенсации искажений изображений следов на деформированных пулях.

**Ключевые слова:** деформированные пули, компенсация искажений, искажения изображений, метод узловых точек, трассы, следы на пулях.

DOI: 10.18500/1994-2540-2018-18-2-227-231



### Введение

От 40 до 80% пуль, поступающих на исследование, деформированы. Следы от канала ствола на таких пулях искажены в зависимости от степени деформации пули. Проведение проверок в ручном или автоматическом режиме по массиву следов недеформированных тестовых объектов либо затруднительно, либо невозможно. Поэтому актуальной задачей является получение изображений следов с минимальными искажениями и идентификационно значимой информации.

Целью данной работы является исследование возможности компенсации искажений, обусловленных деформацией пуль.

### Теоретический анализ

В результате столкновения с жесткой преградой пуля деформируется. Изменение формы снаряда приводит к искажению трасс, сформированных на его поверхности. При столкновении головной частью с жесткой преградой пуля часто испытывает деформацию в виде локального кольцевого утолщения (рис. 1 *в, г*). Этот тип деформации рассматривается в данной работе, поскольку он может служить основой для моделирования более сложных видов деформаций.

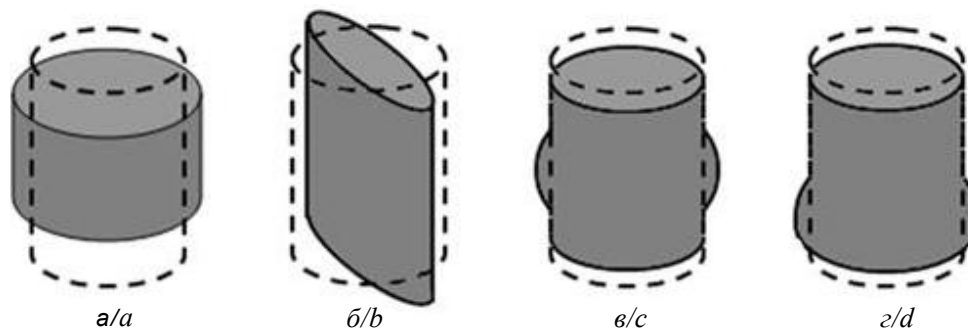


Рис. 1. Схематическое изображение различных видов деформаций ведущих частей пуль: *а* – при равномерном увеличении диаметра; *б* – в виде эллипса в поперечном сечении; *в* – при кольцевом утолщении; *г* – при грибообразной деформации

Fig. 1. Schematic representation of different types of deformation of the leading parts of bullets: *a* – with uniform increase in diameter; *b* – in the form of an ellipse in cross section; *c* – with annular thickening; *d* – with deformation in the form of a mushroom



Следует отметить, что малые деформации пули испытывает уже при ускорении в канале ствола. При этом поперечное сечение пули при ее вылете из нарезного канала ствола, строго говоря, не представляет собой круг. Как было показано в работе [1], если изменения диаметра пули незначительны и лежат в пределах 0,15 мм, они не приводят к значимому искажению следовой картины. Говорить о компенсации искажений следует при разнице диаметров сравниваемых пуль порядка 0,20 мм и более.

Существуют разные способы реконструкции изображений на плоскости. Для пересчета изображения следа на деформированной пуле в следовую картину, соответствующую недеформированной пуле, наиболее оптимальным будет метод узловых точек. В качестве исследуемого объекта используются вторичные следы. Они обладают ярко выраженными четкими границами в виде следов от холостой и боевой граней. Для пересчета необходимо для искаженного и неискаженного изображения построить сетку узловых точек. Узловые точки на деформированном изображении должны строго соответствовать узловым точкам на недеформированном изображении. Подробно построение сетки узловых точек было рассмотрено нами ранее [2].

Перевод изображения, соответствующего деформированной пуле, в изображение, соответствующее недеформированной пуле, включает два этапа. На первом необходимо соотнести

координаты каждого пикселя отдельной ячейки сетки узловых точек недеформированного и деформированного изображений. Для этого использовались билинейные уравнения с 8 неизвестными коэффициентами:

$$\begin{aligned}x' &= c_1x + c_2y + c_3xy + c_4 \\y' &= c_5x + c_6y + c_7xy + c_8,\end{aligned}$$

где  $c_n$  коэффициенты преобразования.

Применяя уравнения для каждой узловой точки ячейки, получим систему из восьми уравнений, из которой находим коэффициенты преобразования  $c_n$ .

Вторым этапом является расчет яркости пикселей в каждой точке восстановленной картины с помощью полученных коэффициентов [2].

### Модельный эксперимент

Для оценки искажений следовой картины и корректного определения коэффициентов преобразования была смоделирована ведущая часть 9 мм пули в масштабе 1:50. Модель представляла собой сетку из стальной проволоки, свернутую в цилиндр. На сетку прикреплялась эластичная ткань с нанесенными узловыми точками и штрихами, имитирующими трассы. Для моделирования деформации под ткань помещался элемент, имитирующий локальное увеличение диаметра пули (рис. 2). Восстановление исходной картины при таком типе деформации может служить основой для компенсации более сложных искажений.

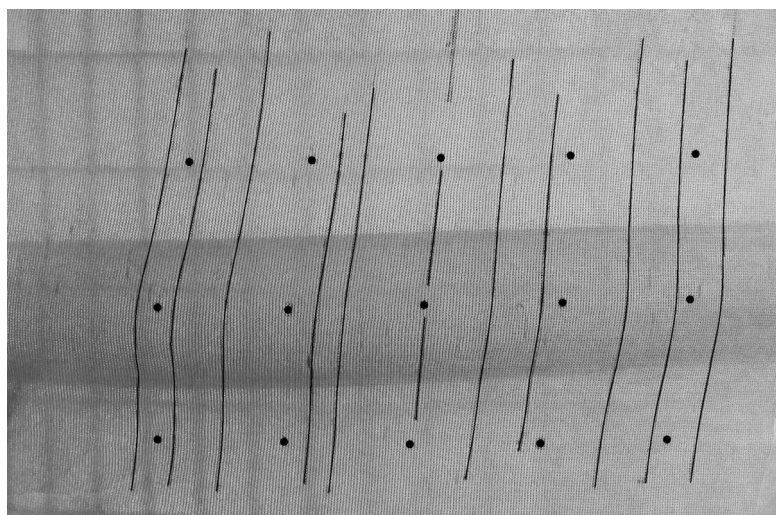


Рис. 2. Модель ведущей части пули с деформирующим элементом

Fig. 2. Model of the leading part of the bullet with deforming element

Сначала изображение трасс и узловых точек фотографировалось на развернутой сетке без деформирующего элемента. Предварительные экспериментальные исследования показали, что искажения на данной картине минимальны и близ-

ки к искажениям, получаемым при сканировании недеформированной пули на автоматизированной баллистической идентификационной системе (АБИС) «POISC». Затем сетка сворачивалась в цилиндр и под эластичную ткань помещался



элемент, имитирующий локальное увеличение диаметра пули. Модель фотографировалась одним кадром, имитируя съемку деформированной пули. С помощью полученных координат узловых точек высчитывались коэффициенты преобразования  $c_n$ .

Модельные эксперименты были проведены для различных изменений диаметра. В результате были получены коэффициенты преобразования  $c_n$ , необходимые для пересчета реальных следов, представленные в виде таблицы.

**Коэффициенты пересчета крайней ячейки с наиболее сильными искажениями для разных изменений диаметра**

**The conversion coefficients of the outside cell with the strongest distortions for different diameter changes**

Коэффициенты преобразования	Изменение диаметра пули, мм								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
$C_1$	0,95	0,96	0,99	0,97	0,97	0,97	0,95	0,95	0,95
$C_2$	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01
$C_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_4$	27,04	0,01	-58,27	-7,49	-6,57	-6,33	-0,64	-2,08	-3,84
$C_5$	-0,06	-0,07	-0,09	-0,08	-0,11	-0,10	-0,15	-0,14	-0,16
$C_6$	0,96	0,96	0,94	0,97	0,96	0,97	0,98	0,97	0,98
$C_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_8$	17,81	66,95	4,90	59,99	63,19	63,03	54,95	55,49	69,36

**Экспериментальные исследования**

Эксперименты с реальными следами были проведены для пуль, выстреленных из пистолета Макарова калибра 9 мм. Нижняя часть парных вторичных следов на пулях была отсканирована на АБИС «POISC». Затем одна пуля была дефор-

мирована и отсканирована на АБИС «POISC» вновь. При совмещении трасс на изображениях следов на недеформированной и деформированной пулях в одной области вторичного следа наблюдалась разбежка трасс в другой области этого же следа (рис. 3).



Рис. 3. Совмещение изображения недеформированной и деформированной пули (сплошной линией показана область не совместившихся трасс, а пунктиром – совпавшая область)

Fig. 3. Combination image undeformed and deformed bullets (the continuous line shows the area of not compatible traces, and the dotted line – coincided area)

Для оценки степени деформации было проведено измерение максимального диаметра пули в зоне утолщения. Затем был произведен пересчет изображения следа на деформированной пуле в соответствии с коэффициентами, полученными с помощью модели для данной степени деформации.

След фотографировался тремя кадрами. Исследования показали, что большее количество кадров нецелесообразно, так как возможно увеличение потерь информации при сшивках кадров. При съемке меньшим количеством кадров возрастет влияние искажений, связанных с кривизной поверхности. Каждый кадр был



пересчитан в соответствии с коэффициентами, полученными с помощью модели. Необходимость такого режима съемки объясняется тем, что одна и та же трасса, находясь на разных

кадрах по разные стороны от оптической оси камеры, может изгибаться в разные стороны. На рис. 4 показана данная ситуация, воссозданная с помощью модели.

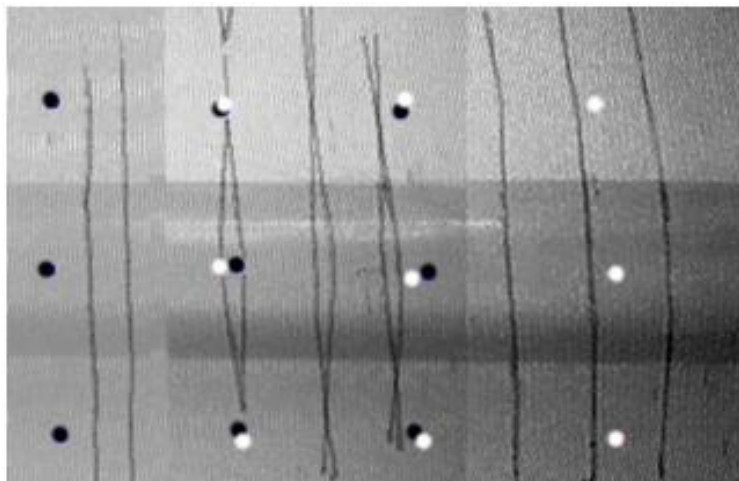


Рис. 4. Сшивка двух кадров деформированной поверхности

Fig. 4. Stitching of two cadres of the deformed surface

Затем все кадры аккуратно сшивались вместе. После совмещения пересчитанного изображения следа с изображением следа на неде-

формированной пуле наблюдалось практически полное совпадение трасс, как в центре, так и на краях изображений (рис. 5).

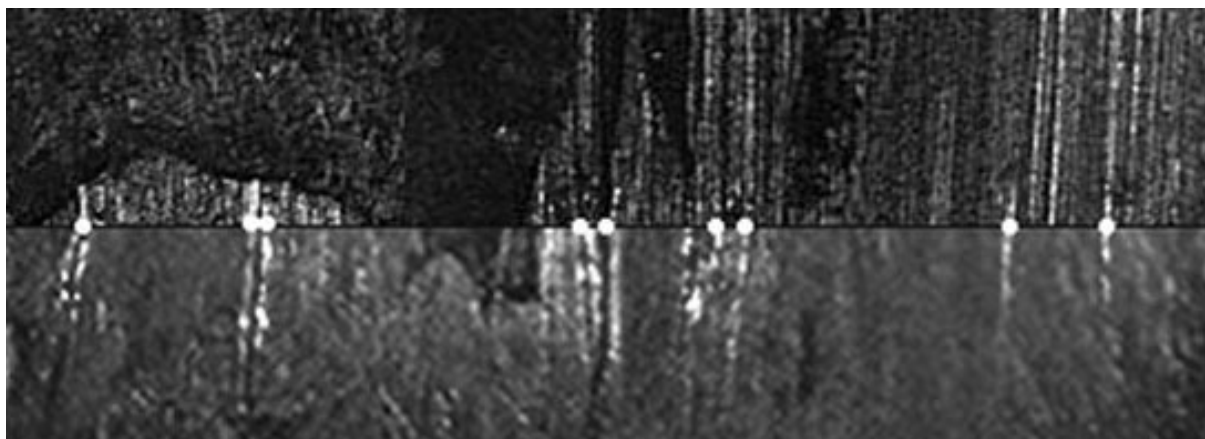


Рис. 5. Совмещение изображения недеформированной пули и деформированной пули после пересчета

Fig. 5. Combination the image of an undeformed bullet and a deformed bullet after conversion

### Выводы

Таким образом, был разработан алгоритм компенсации искажений изображений деформированных пуль, полученных на АБИС «POISC», для баллистических систем. Его можно представить в виде следующих операций:

- 1) измерение изменения диаметра пули при деформации;
- 2) выделение узловых точек;

3) пересчет искаженных изображений с использованием коэффициентов, соответствующих данной деформации;

4) сшивка кадров с выпрямленными периферийными трассами.

Проведенное исследование показывает, что данная работа может быть использована для компенсации искажений изображений следов на деформированных пулях.



Данная методика апробирована для симметричной деформации. Следует продолжить исследования по разработке алгоритма для компенсации несимметричных деформаций.

#### Список литературы

1. Федоренко В. А. Идентификация оружия по следам на деформированных пулях // Изв. Саратов. ун-та. Нов.

сер. Сер. Экономика. Управление. Право. 2012. Т. 12, вып. 3. С. 49–53.

2. Федоренко В. А., Сорокина К. О. Компенсация искажений на цифровых изображениях следов оружия на выстреленных пулях, обусловленных кривизной исследуемой поверхности // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 91–95. DOI: 10.18500/1994-2540-2017-17-1-91-95.

#### Образец для цитирования:

Федоренко В. А., Сорокина К. О. Компенсация искажений изображений следов на деформированных пулях для их автоматизированного сравнения // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 227–231. DOI: 10.18500/1994-2540-2018-18-2-227-231.

#### Compensation of Distortions of Images of Traces on the Deformed Bullets for their Automated Comparison

V. A. Fedorenko, K. O. Sorokina

Vladimir A. Fedorenko, ORCID 0000-0002-3979-2602, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, fed77@yandex.ru

Ksenia O. Sorokina, ORCID 0000-0003-1071-1298, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77, Politechnicheskaya Str., Saratov, 410054, Russia, lorredos@gmail.com

**Introduction.** The purpose of work is: a research of ability of compensation of distortions caused by deformation of bullets.

**Theoretical analysis.** In work examined bullets with deformation in the type of local annular expansion. This type of deformation is basis for compensation of complex distortions. Nodal point method selected for the evaluation of image distortion and compensation.

**Model experiment.** Model of deformed 9 mm bullet obtained in 1:50 scale for determination of transformation coefficients. The table of transformation coefficients obtained by means of experiments for different diameter variations. **Experimental studies.** Experiments have been carried out for bullets, the shot from a Makarov pistol cali-

ber 9 mm. The overlapping of images of non-deformed and deformed bullet showed before converting divergence of paired attributes in brinks images. Distortions of trace images on the deformed bullet compensated. Coinciding traces overlapped almost completely. **Conclusions.** The algorithm compensation of distortions of deformed bullets images develop. This system approved for symmetric deformation. The algorithm can be used for compensation of distortions of traces images on the deformed bullets.

**Keywords:** deformed bullets, compensation of distortions, distortion of the image, nodal point method, traces on bullets, coinciding traces.

#### Reference

1. Fedorenko V. A. Identification of Weapons on Traces on the Deformed Bullets. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Economics. Management. Law*, 2012, vol. 12, iss. 3, pp. 49–53 (in Russian).
2. Fedorenko V. A., Sorokina K. O. Compensation of Distortions on Digital Images of Traces of the Weapon on the Shot Bullets Caused by Curvature of the Studied Surface. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Economics. Management, Law*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 91–95. DOI: 10.18500/1994-2540-2017-17-1-91-95 (in Russian).

#### Cite this article as:

Fedorenko V. A., Sorokina K. O. Compensation of Distortions of Images of Traces on the Deformed Bullets for their Automated Comparison. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Economics. Management. Law*, 2018, vol. 18, iss. 2, pp. 227–231 (in Russian). DOI: 10.18500/1994-2540-2018-18-2-227-231.