



УДК 343.98.065

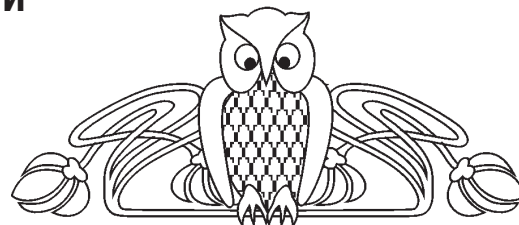
## КОМПЕНСАЦИЯ ИСКАЖЕНИЙ НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ СЛЕДОВ ОРУЖИЯ НА ВЫСТРЕЛЕННЫХ ПУЛЯХ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ КРИВИЗНОЙ ИССЛЕДУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**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

**К. О. Сорокина**

студентка, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского  
E-mail: lorredos@gmail.com



**Введение.** Целью работы является оценка искажений изображений следов на выстреленных пулях, обусловленных кривизной исследуемой поверхности, а также отработка методики их компенсации. **Теоретический анализ.** Для оценки искажений и их компенсации был выбран метод узловых точек. Каждой узловой точке на искаженном изображении должна соответствовать заведомо известная одна узловая точка на неискаженном изображении. Тогда координаты пикселей искаженного изображения можно пересчитать в координаты, которые будут соответствовать этим пикселям на недеформированном изображении. **Модельный эксперимент.** Для оценки возникающих искажений вторичный след моделировался в масштабе 1:50. Модель следа фотографировалась одним кадром (как при съемке на микроскопе), а также 4 кадрами (аналогично сканированию с помощью автоматизированной баллистической идентификационной системы (АБИС)). Методом наложения изображений определялись искажения однокадрового изображения. **Экспериментальные исследования.** Исследования были проведены для пули, выстреленной из пистолета Макарова калибра 9 мм. Сравнимый след был сфотографирован с помощью МСК, а также отсканирован на АБИС «POISC», изображения приведены к одному масштабу и разрешению. Сравнение исходных изображений показало, что парные признаки, расположенные ближе к периферии, не совпадают из-за существенных искажений изображения, полученного на микроскопе. После пересчета искаженного изображения по отработанной на модельном эксперименте методике совпадающие трассы совместились как в центре, так и на периферии изображений. **Выводы.** Цифровые изображения вторичных следов, полученные на оптическом микроскопе, после компенсации искажений методом узловых точек могут использоваться для проведения проверок по электронной пулетеке автоматизированной баллистической идентификационной системы. **Ключевые слова:** следы на пулях, искажение изображений, совпадающие трассы, совмещение следов, компенсация искажений.

DOI: 10.18500/1994-2540-2017-17-1-91-95

### Введение

Проведение оперативных проверок по региональным пулетекам в автоматическом режиме по следам на пулях, изъятых с мест происшествя в

удаленных районах, является одной из проблем судебно-баллистических исследований. Обусловлено это тем, что автоматизированные баллистические идентификационные комплексы (АБИС) установлены только в региональных центрах или крупных городах. В техническом арсенале удаленных экспертных подразделений для исследования следов оружия имеются микроскопы с цифровым выходом. Поэтому достаточно актуальной задачей является разработка методики проведения проверок по электронным пулетекам АБИС по изображениям следов на пулях, полученным с помощью стандартных оптических микроскопов. Цифровые изображения следов могут быть направлены в региональные центры по электронной почте по закрытому каналу связи.

Основная проблема обусловлена разным принципом получения изображений следов с помощью оптического микроскопа и сканера АБИС. В первом случае фотографируется увеличенное изображение следа одним кадром. При этом неизбежно возникают искажения, обусловленные кривизной исследуемой поверхности (рис. 1).

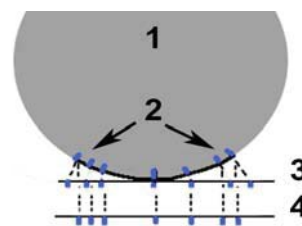


Рис. 1. Схема искажения изображения следа при фотофиксации одним кадром: 1 – пуля в поперечном сечении; 2 – след на поверхности пули; 3 – схема следа, полученного на АБИС; 4 – схема следа, полученного на оптическом микроскопе

Во втором случае изображение следа получается путем «сшивки» нескольких кадров. Например, ширина кадра АБИС «POISC» составляет порядка 0,6 мм. По этой причине изображение следа,



полученное на сканере АБИС, представляет собой фактически развертку на плоскости изображения поверхности исследуемого объекта. Поэтому при сравнении изображений парных следов (следов, образованных неоднородностями рельефа одного канала ствола), полученных на АБИС и микроскопе, следует ожидать, что совпадающие трассы могут не совместиться (подразумевается, что коэффициент увеличения и разрешение цифровых изображений при этом совпадают).

Целью работы является оценка искажений изображений вторичных следов на недеформированных пулях, полученных с помощью оптического микроскопа с цифровым выходом, а также исследование возможности компенсации данных искажений.

### Теоретический анализ

Для оценки искажений изображений следов, вызванных кривизной цилиндрической поверхности, и последующей их компенсации был выбран метод узловых точек, который заключается в следующем. Для искаженного и неискаженного изображений строится сетка узловых точек [1]. Каждой узловой точке на искаженном изображении должна соответствовать заведомо известная одна узловая точка на неискаженном изображении (рис. 2, а, б). Тогда координаты пикселей каждой деформированной ячейки можно пересчитать в координаты, которые будут соответствовать этим пикселям уже на недеформированных ячейках.

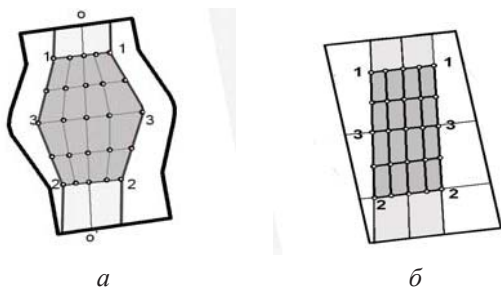


Рис. 2. Пример построения сетки узловых точек: а – на искаженном изображении следа; б – на неискаженном (идеальном) изображении следа

Для пересчета координат пикселей каждой ячейки искаженного изображения использовались билинейные уравнения с 8 неизвестными коэффициентами:

$$\begin{cases} x' = c_1x + c_2y + c_3xy + c_4 \\ y' = c_5x + c_6y + c_7xy + c_8 \end{cases} \quad (1)$$

где –  $c_n$  коэффициенты преобразования.

Так как у одной ячейки четыре узловых точки, то применение формулы для каждого узла приводит к получению двух систем уравнений по четыре уравнения в каждой:

$$\begin{cases} x'_1 = c_1x_1 + c_2y_1 + c_3x_1y_1 + c_4 \\ x'_2 = c_1x_2 + c_2y_2 + c_3x_2y_2 + c_4 \\ x'_3 = c_1x_3 + c_2y_3 + c_3x_3y_3 + c_4 \\ x'_4 = c_1x_4 + c_2y_4 + c_3x_4y_4 + c_4 \end{cases} \quad (2)$$

и

$$\begin{cases} y'_1 = c_5x_1 + c_6y_1 + c_7x_1y_1 + c_8 \\ y'_2 = c_5x_2 + c_6y_2 + c_7x_2y_2 + c_8 \\ y'_3 = c_5x_3 + c_6y_3 + c_7x_3y_3 + c_8 \\ y'_4 = c_5x_4 + c_6y_4 + c_7x_4y_4 + c_8 \end{cases} \quad (3)$$

Системы (2) и (3) с четырьмя неизвестными следует разрешить относительно неизвестных коэффициентов  $c_n$ . Таким образом будет установлена аналитическая связь между координатами изображений каждой искаженной ячейки с неискаженной. Яркость каждого пикселя искаженного изображения присваивается пикселю неискаженного изображения с соответствующими координатами, пересчитанными с помощью системы уравнений (2) и (3). Для нахождения коэффициентов  $c_n$  использовался метод Гаусса [2].

В качестве исследуемых выбраны вторичные следы (следы от полей нарезков) на выстреленных пулях, которые имеют границы в виде ярко выраженных трасс от холостой и боевой грани. Расположение исследуемого следа по центру объектива позволяет получить симметричные искажения его изображения при фотофиксации на микроскопе. В последующем это упрощает правило построения сетки узловых точек.

Схема построения сетки узловых точек на искаженном и неискаженном изображениях вторичных следов может быть следующей. Вдоль следов от холостой и боевой грани, а также через центр следа проводятся прямые линии, обозначенные на рис. 3 *A-a*, *F-f* и *C-c* соответственно. Между каждой границей и центром проводятся дополнительные срединные линии, обозначенные *B-b* и *D-d*. Затем проводятся верхняя, нижняя и средняя горизонтальные линии. Пересечения вертикальных и горизонтальных линий образуют узловые точки. В принципе, на след можно наложить и более мелкие ячейки, однако предварительные исследования показали целесообразность такого разбиения в основном для деформированных пуль.

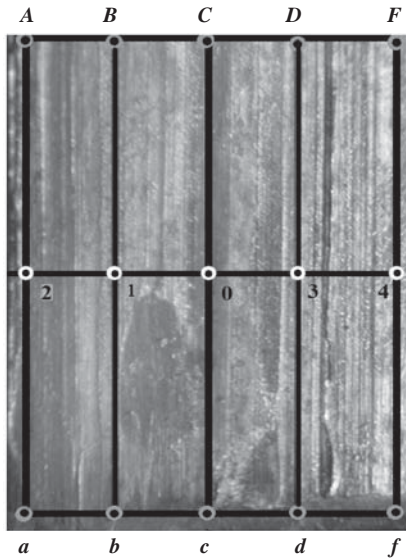


Рис. 3. Фрагмент вторичного следа с нанесенной сеткой узловых точек

### Модельный эксперимент

Для определения оценки искажений изображений был проведен модельный эксперимент. След, характерный для пистолета Макарова калибра 9 мм, моделировался в масштабе 1:50. Для этого на боковую поверхность цилиндра диаметром 45 см наклеивалось схематичное изображение вторичного следа с сеткой узловых точек, нанесенной на миллиметровку. С расстояния 1 метр производилось фотографирование следа, при этом ось объектива проходила через центр следа перпендикулярно к плоскости касательной к поверхности цилиндра в данной точке. След имел размеры 12×12 см, что соответствовало участку следа на пуле 2,5×2,5 мм. Затем этот след при таких же условиях фотографировался 4 перекрывающимися кадрами. После «сшивки» кадров получалось изображение, аналогичное изображению с АБИС с пренебрежимо малыми искажениями. Наложение данных изображений представлено на рис. 4. Из него видно, что узловые точки на втором (неискаженном) изображении стоят дальше от центральной линии C-c относительно этих же точек искаженного изображения, полученного одним кадром. Искажениями по вертикали в центральных частях кадра можно пренебречь, а в точках A, a, F, f их уже следует учитывать.

Таким образом, при фотографировании следа на микроскопе 4 кадрами узловые точки будут иметь координаты, представленные в табл. 1 (см. рис. 4). Пунктирные и сплошные линии на миллиметровке соответствуют трассам на пулях шириной 20 мкм на искаженном и неискаженном изображении соответственно.

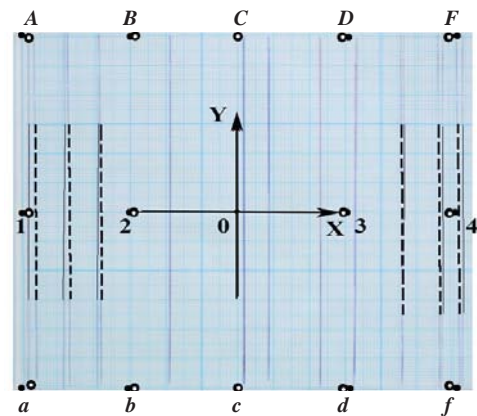


Рис. 4. Искажение следовой картины при фотографировании следа одним кадром: черные кружки – узловые точки на неискаженном изображении, полученном «сшивкой» 4 кадров; кружки с отверстием в центре – узловые точки на изображении, полученном при фотографировании одним кадром

Узловые точки изображения, полученного одним кадром, имеют координаты, представленные в табл. 2. Зная координаты узловых точек искаженного и неискаженного изображения, легко провести пересчет всех пикселей каждой ячейки искаженного изображения в соответствии с билинейными уравнениями (2), (3). Использование миллиметровки в модельном эксперименте позволило корректно «сшить» кадры и в конечном счете достаточно точно определить искажения.

Таблица 1

Координаты узловых точек на изображении, полученном «сшивкой» 4 кадров

Обознач. точек X; Y	A	B	C	D	F
	-60; 60	-30; 60	0; 60	30; 60	60; 60
Обознач. точек X; Y	1	2	0	3	4
	-60; 0	-30; 0	0; 0	30; 0	60; 0
Обознач. точек X; Y	a	b	c	d	f
	-60; -60	-30; -60	0; -60	30; -60	60; -60

Таблица 2

Координаты узловых точек на изображении, полученном одним кадром

Обознач. точек X; Y	A	B	C	D	F
	-57.5; 59	-29; 60	0; 60	29; 60	57.5; 59
Обознач. точек X; Y	1	2	0	3	4
	-57.5; 0	-29; 0	0; 0	29; 0	57.5; 0
Обознач. точек X; Y	A	B	C	D	F
	-57.5; -59	-29; -60	0; -60	30; -60	57.5; -59

Модельные исследования показали, что при сравнении изображений реальных вторичных следов шириной 2,5 мм, полученных фотографированием 1 кадром и «сшивкой» 4 кадров, расхождение узловых точек A-a и F-f могут до-





стигать 60 мкм. В сумме изображение, полученное одним кадром, будет примерно на 120 мкм короче изображения, полученного «сшивкой» 4 кадров. Этого вполне достаточно, чтобы парные трассы невозможно было совместить на большей части сравниваемых следов. Из рис. 4 видна степень расхождения совпадающих трасс.

Компенсация искажений изображения с цилиндрической поверхности путем пересчета координат методом узловых точек показало следующее. После пересчета узловые точки и трассы на новом изображении практически полностью совместились с соответствующими элементами на неискаженном изображении.

### Экспериментальные исследования

Эксперименты с реальными следами были проведены для пуль, выстреленных из пистолета Макарова калибра 9 мм. Нижняя часть вторичного следа на пуле была сфотографирована на сравнительном криминалистическом микроскопе при положении осветителей с правой стороны (аналогичным образом были выставлены осветители в используемой АБИС «POISC»). Световой

поток был направлен к центру следа под углом 35–45 градусов, расходимость светового потока составляла порядка 10 градусов. Затем этот же след был отсканирован на АБИС «POISC». Изображения были приведены к одному масштабу и разрешению. Совмещение исходных изображений показало (рис. 5, а), что одни и те же признаки, расположенные ближе к периферии, не совпадают из-за искажений изображения, полученного на микроскопе.

После нанесения узловых точек на исходных изображениях и присвоения им координат в соответствии с результатами модельного эксперимента был проведен пересчет искаженного изображения. После совмещения пересчитанного изображения следа с изображением следа, полученного с помощью АБИС, наблюдалось практически полное совпадение трасс как в центре, так и на периферии изображений (рис. 5, б). Таким образом, показано, что для проведения эффективных проверок по цифровым изображениям следов, полученным на АБИС, исследуемое изображение следа, полученное на микроскопе, необходимо пересчитать в соответствии с представленной методикой.

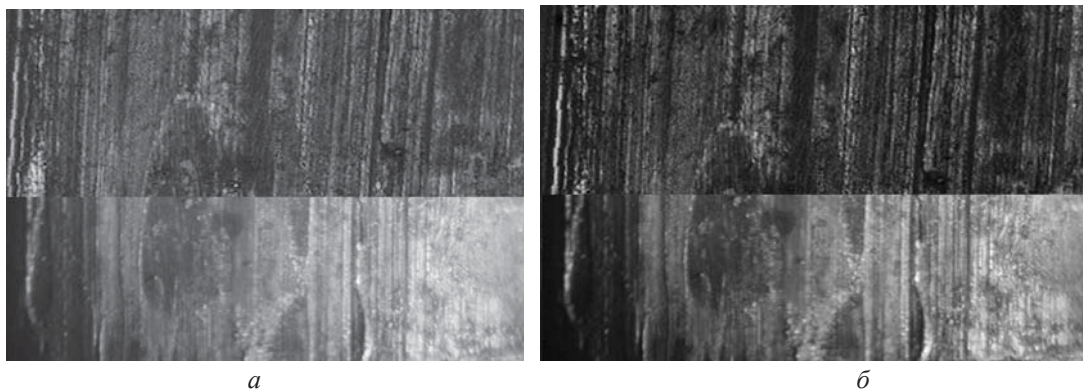


Рис. 5. Совмещение изображения следа на недеформированной пуле, полученного на МСК, с изображением этого же следа, полученного на АБИС «POISC»: а – до компенсации искажений; б – после компенсации искажений

### Выводы

Цифровые изображения вторичных следов, полученные на оптическом микроскопе, после компенсации искажений методом узловых точек могут использоваться для проведения проверок по электронной пулетекке АБИС при соблюдении следующих требований.

1. Направление и угол наклона осветителя микроскопа должен соответствовать положению осветителя в сканере АБИС.

2. Коэффициент увеличения и разрешение цифровых изображений, полученных на сканере АБИС и на традиционном микроскопе, должны совпадать, т.е. быть приведены к одному масштабу.

3. Для обеспечения симметричности искажений и, соответственно, для корректности и еди-

нообразия пересчета узловых точек оптическая ось объектива микроскопа должна совпадать с центром кадра и при этом быть перпендикулярной к плоскости, касательной к центру кадра.

*Авторы выражают благодарность сотрудникам компании «СДЦ Инжиниринг» (г. Санкт-Петербург) за ценные замечания, сделанные в процессе обсуждения данной работы.*

### Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Мир цифровой обработки. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. под ред. П. А. Чочиа. М. : Техносфера, 2005. 1072 с.
2. Турчак Л. И. Основы численных методов : учеб. пособие. М. : Наука, 1987. 320 с.



---

**Образец для цитирования:**

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.

---

**Compensation of Distortions on Digital Images of Traces of the Weapon on the Shot Bullets Caused by Curvature of the Studied Surface**

**V. A. Fedorenko**

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

**K. O. Sorokina**

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

**Introduction.** The purpose of work is: an assessment of distortions of images of traces on the shot bullets caused by curvature of the studied surface; working off of a technique of compensation of distortions. **Theoretical analysis.** Nodal point method was selected for the evaluation of image distortion and compensation. The method is based on the principle that each nodal point in the distorted image must comply with clearly known one anchor point to the undistorted image. In this case, the coordinates of pixels in the distorted image can be converted into coordinates that will conform these pixels on the undeformed image. **Model experiment.** The secondary trace should be modeled in 1:50 scale for evaluating the distortion. Model of trace was photographed one frame (similar to shooting on the microscope) and by 4 frames (similar to scanning through an automated

ballistic identification system (ABIS)). The difference image distortion was determined by superimposing images. **Experimental studies.** Studies have been carried out for bullets, the shot from a Makarov pistol caliber 9 mm. The compared trace has been photographed by means of a comparative microscope, and also scanned on ABIS "POISC". The resulting images have been provided to one scale and resolution. Comparison of the original image showed that paired attributes are located near the periphery, do not coincide due to the significant distortion of the image, obtained in the microscope. Matching tracks are aligned in the center and at the periphery of images after the conversion of the distorted image. **Conclusions.** Digital images of secondary traces from an optical microscope can be used in a digital database on bullets of the automated ballistic system after compensation of distortions by method of nodal points. **Key words:** traces on bullets, distortion of the image, coinciding routes, traces on bullets, compensation of distortions.

**Reference**

1. Gonzales R. C., Woods R. E. *Digital Image Processing*. 2nd ed. New Jersey, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2002 (Russ. ed.: Gonsales R., Vuds R. *Mir tsifrovoy obrabotki. Tsifrovaia obrabotka izobrazhenii*. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2005. 1072 p.).
2. Turchak L. I. *Osnovy chislennykh metodov: uchebnoe posobie* [Bases of numerical methods. Education quidance]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 320 p. (in Russian).

---

**Cite this article as:**

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 (in Russian). DOI: 10.18500/1994-2540-2017-17-1-91-95.

---