

Критерии и алгоритм оценки уникальности комплексов совпадающих трасс в следах на выстреленных пулях

В. А. Федоренко, Е. В. Навроцкая

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия

Аннотация. В работе предлагается новый алгоритм оценки схожести следов на выстреленных пулях, основанный на оценке вероятности случайного совпадения признаков, индивидуальных для каждого экземпляра оружия. Предложена реализация алгоритма поиска тождественных следов в автоматическом режиме. По сравнению с известными подходами, предложенный метод позволяет учитывать структуру трасс-признаков и их ширину. Предложен критерий потенциальной тождественности следов, основанный на анализе зависимости числа совпадающих трасс от сдвига сравниваемых следов. Данный критерий позволяет повысить надежность оценки уникальности комплексов совпадающих трасс. Проведенные исследования следов на пулях, выстреленных из автомата Калашникова и пистолета Макарова, показали эффективность предложенной методики и объективность оценки степени схожести следов. Предложенная методика позволит объективизировать категорический положительный вывод эксперта о тождественности сравниваемых следов при идентификации огнестрельного оружия по следам на выстреленных пулях.

Ключевые слова: анализ изображений, следы на выстреленных пулях, совпадающие трассы, парные следы, фильтр Фурье, приоритетный список.

DOI 10.14357/20718632190110

Введение

Идентификацию нарезного огнестрельного оружия производят по следам на выстреленных пулях, которые представляют собой набор трасс (набор чередующихся микроскопических валиков и борозд), уникальный для каждого экземпляра оружия. Процесс формирования трасс на пулях носит двойственный характер. С одной стороны каждый нарезной ствол формирует на выстреленной пуле свой набор трасс, свойственный только данному экземпляру оружия. С другой стороны, каждый выстрел является в определенной степени уникальным и поэтому следы характеризуются вариативно-

стью признаков, которая определяется множеством неконтролируемых параметров: давлением форсирования, неравномерностью срыва пули с дульца гильзы, разным диаметром пуль в пределах допуска (порядка 50 мкм), температурой ствола и патрона, скоростью нарастания давления пороховых газов в канале ствола, наличием (отсутствием) в канале ствола смазки или копоти от предыдущего выстрела и т.д. Вариативность следов значительно усложняет процесс идентификации оружия.

При движении пули по каналу нарезного ствола на ней формируются следующие группы динамических следов (следов скольжения): первичные, вторичные и следы от дна нарезов.

Первичные следы формируются на начальном этапе взаимодействия пули с выступающими полями нарезов при ее поступательном движении (без вращения) и представляют собой наборы трасс, ориентированных параллельно продольной оси пули (Рис. 1, отм. 1). Вторичные следы образуются от полей нарезов и их граней (холостой и боевой граней) уже при поступательно-вращательном движении пули по каналу ствола (Рис. 1, отм. 2). Они представляют собой динамические следы с углом наклона трасс, равным углу наклона нарезов. Одновременно с вторичными следами формируются следы от дна нарезов, которые располагаются между соседними следами полей нарезов и имеют наклон трасс, равный углу наклона нарезов (Рис. 1, отм. 3) [1].

Во всех динамических следах идентификационными признаками являются трассы, их ширина и положение в следе. Вторичные следы обладают двумя достоинствами: имеют ярко выраженные границы в виде трасс от боевой и холостой граней полей нарезов (Рис. 1, отм. 4, 5); являются

наиболее информативными (Рис. 1, отм. 6). Наличие ярко выраженных границ позволяет определять ширину следов, ограничить интервал сдвига одного следа относительно другого при их сравнении, что принципиально сокращает время поиска комплекса совпадающих признаков. Благодаря этим обстоятельствам вторичные следы часто используют для идентификации огнестрельного оружия [2].

В данной работе предложены критерии и алгоритм оценки уникальности комплексов совпадающих трасс в сравниваемых следах на выстреленных пулях с целью объективизации идентификации оружия.

Актуальность темы подтверждается работами [3, 4] в которых отмечена необходимость разработки математических моделей, позволяющих получать количественные оценки вероятности совпадения признаков в сравниваемых следах при идентификации оружия и, как следствие, объективизировать формирование категорических положительных выводов о тождественности сравниваемых следов.

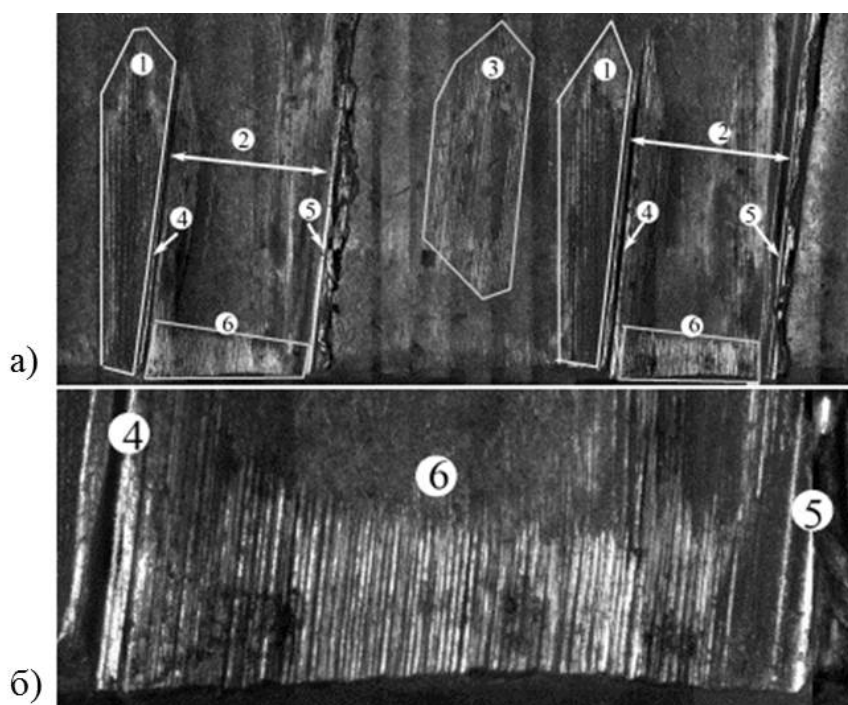


Рис. 1. Следы на пуле, выстреленной из нарезного канала ствола

а) фрагмент изображения развертки боковой поверхности пули со следами (отм. 1 – области первичных следов; отм. 2 – вторичные следы; отм. 3 – область следов дна нареза; отм. 4, 5 – трассы от холостой и боевой грани поля нареза соответственно; отм. 6 – наиболее информативная нижняя часть вторичного следа)

б) увеличенное изображение нижней части вторичного следа, характерного для пули, выстреленных из пистолета Макарова

1. Известные методики анализа тождественности следов на пулях

В настоящее время категорический вывод о тождественности сравниваемых следов эксперт делает на основе личного опыта. В работе [5] для обоснования такого вывода предложено учитывать серии из последовательно совпадающих трасс. Для обеспечения уникальности комплекса совпадающих признаков в сравниваемых следах должна совпадать хотя бы одна серия, состоящая не менее чем из 8 последовательно совпадающих трасс или две серии, состоящие не менее чем из 5 трасс каждая [6]. При этом налагается жесткое требование на совпадение ширины и положения центров совмещенных трасс (Рис.2).

Как было показано в работе [7] данные требования являются несколько завышенными. Обусловлено это следующими факторами. Метод Биазотти (или CMS метод) практически не применим к следам, содержащим малое число трасс. Например, на пулях выстреленных из АК-74 традиционно формируются следы с очень малым числом трасс. На Рис. 2.а представлено изображение парных вторичных следов, содержащих по 4 трассы каждый. Совпадающие трассы помечены черными точками и

обозначены цифрой 1. При совмещении таких следов принципиально невозможно формирование серий из 5 последовательно совпадающих трасс, поэтому в данном случае с помощью метода Биазотти не представляется возможным идентифицировать парные следы. С другой стороны существует большое число моделей оружия, при выстреле из которых во вторичных следах образуется большое число плотно расположенных трасс (Рис. 2, б). При сравнении таких непарных следов высока вероятность формирования серий из большого количества случайно совпадающих трасс. На Рис. 2, б для непарных следов случайным образом совпало две группы по 5 трасс и, оценивая тождественность этих следов по стандартному методу Биазотти, эти следы можно ложно признать парными.

Другая концепция оценки уникальности комплексов совпадающих трасс представлена в работе [7], которая основана на оценке вероятности случайного совпадения трасс при следующих предположениях: каждая трасса в следе может занимать строго определенную позицию; все трассы имеют среднюю ширину 20 мкм. Исследования были проведены для вторичных следов, образованных полями нарезов, которые имеют четко обозначенные грани-

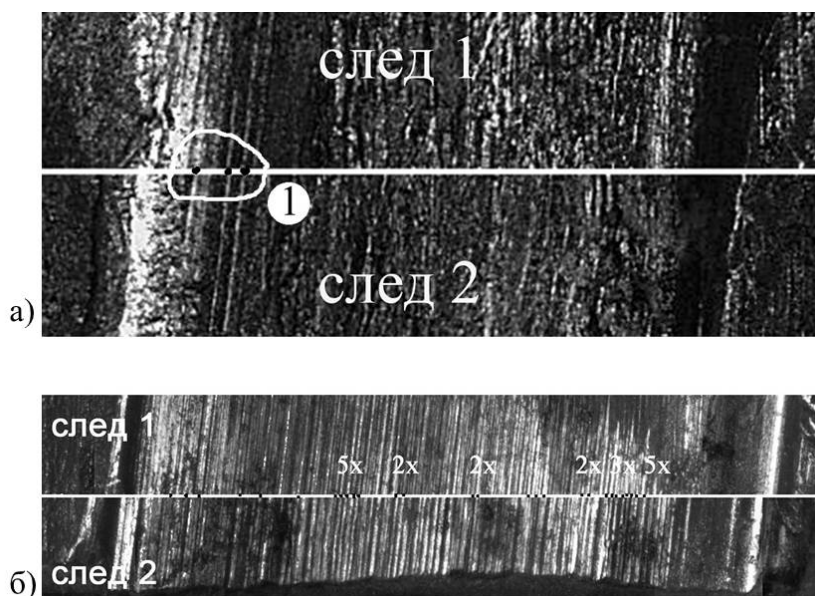


Рис. 2. Характерные вторичные следы, в отношении которых применение метода Биазотти затруднено

- а) следы с очень малым числом трасс, характерные для пуль, выстреленных из автомата АК-74;
б) следы с большим числом трасс, характерные для пуль, выстреленных из пистолета Макарова, «Таурас», и др.

цы в виде отпечатка холостой и боевой грани (Рис. 1). Это позволяет достаточно точно определить границы сравниваемых следов, что существенно упрощает математическую модель оценки вероятности исследуемого события. Расчеты вероятности проводили в соответствии с формулой (1):

$$P_{in} = \left\{ \sum_{i=n}^{\min N_1, N_2} C_{N_1}^i C_{N-N_1}^{N_2-n} / C_N^{N_2} \right\}, \quad (1)$$

где N_1 – количество трасс в первом следе, N_2 – количество трасс во втором следе, n – общее число совпадающих трасс, i – текущее значение от номера n до минимального значения из N_1, N_2 ($\min(N_1, N_2)$), N – количество возможных позиций (например, для 9 мм пули, выстреленной из пистолета Макарова, ширина вторичных следов порядка 2 мм, соответственно $N=100$), $N-N_1$ – число позиций 1-го следа, на которые могут попасть непарные трассы второго следа; N_2-n – число непарных трасс второго следа; $C_{N-N_1}^{N_2-n}$ – число сочетаний непарных трасс 2-го следа по числу позиций, которые они могут занимать; $C_{N_1}^i$ – число сочетаний по i из N_1 ; $C_N^{N_2}$ – число сочетаний по N_2 из N .

Расчеты показали, что при совпадении порядка 50% трасс от общего их числа в сравниваемых следах, вероятность случайного совмещения трасс часто превышает 0.05, что является слишком большой величиной для обоснования категорического положительного вывода. На практике же при совмещении 50% трасс часто удается обосновать криминалистическую тождественность исследуемых следов.

Таким образом, несмотря на то, что в предложенной модели учитывается число трасс в каждом следе, результат расчетов нельзя признать удовлетворительным, поскольку не учитывается важная идентификационная информация, а именно структура совпадающих трасс, которую можно выразить через ширину трасс. Действительно, при сравнении следов учитывают не только совмещение центров трасс, но и совпадение ширины совмещаемых трасс (в некоторых пределах) – широкая трасса совпадает с широкой, а узкая с узкой.

2. Предлагаемый подход

2.1 Оценка вероятности случайного совмещения трасс

В данной работе получила дальнейшее развитие модель для вторичных следов, предложенная в статье [7]. При оценке вероятности предлагается учитывать не только общее число совмещенных трасс, но и ширину последовательно совпадающих трасс в сериях. Предположим, что трассы во вторичных следах условно можно разделить на 3 диапазона. Например, трассы шириной 4-10 мкм, 11-16 мкм и более 16 мкм. Пусть имеется серия из k подряд совпадающих трасс, причем пусть r_1 – число трасс с шириной 4-10 мкм, в этой серии, r_2 – число трасс шириной 11-16 мкм и r_3 – число трасс шириной более 16 мкм. Вероятность случайного сочетания k трасс различной ширины можно определить следующим выражением:

$$P = \frac{P_j(r_1, r_2, r_3)}{3^k}, \quad (2)$$

где $r_1 + r_2 + r_3 = k$, $P_j(r_1, r_2, r_3) = \frac{k!}{r_1! r_2! r_3!}$ – вероят-

ность, определяемая количеством возможных сочетаний трасс разной ширины в серии из k трасс, j – номер серии.

Оценка вероятности по формуле (2) для серий, состоящих из 3-х — 7-ми трасс с 3-х уровней градацией их ширины показала, что они характеризуются значениями вероятности случайного совмещения в диапазоне от 0.3 до 0.05. Если таких серий несколько, то вероятности перемножаются как независимые события:

$$P_l = \prod_{j=1}^m \left\{ \frac{P_j(r_1, r_2, r_3)}{3^k} \right\}, \text{ где } m \text{ – количество серий.}$$

Итоговая формула оценки вероятности случайного совмещения трасс с учетом их ширины в сериях из последовательно совпадающих трасс определяется следующим выражением:

$$\begin{aligned} P_{all}(A) &= P_{in} \cdot P_l = \\ &= \left\{ \sum_{i=n}^{\min N_1, N_2} C_{N_1}^i C_{N-N_1}^{N_2-n} / C_N^{N_2} \right\} \prod_{j=1}^m \left\{ \frac{P_j(r_1, r_2, r_3)}{3^k} \right\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Как показали расчеты, присутствие нескольких серий с числом трасс от 3 до 7 в каждой может уменьшить вероятность случайного совмещения трасс с именно таким набором ширины в среднем на 2-4 порядка.

Введем понятие уникальности комплексов совмещенных трасс Z как величину:

$$Z = |\lg(P_{all})|. \quad (4)$$

Тогда логично следующее утверждение: чем выше уникальность комплексов совпадающих трасс, тем больше схожесть сравниваемых следов.

2.2. Дополнительный критерий потенциальной тождественности следов

В данной работе предлагается учитывать дополнительный критерий схожести следов на выстреленных пулях, который формируется за

счет уникальности комплексов признаков сравниваемых следов. Суть данного критерия можно пояснить следующим образом. При сравнении следов эксперт сдвигает изображения первого и второго следа относительно друг друга, добиваясь наилучшего совмещения, при котором наблюдается максимальное количество парных трасс. Для криминалистически тождественных следов должен наблюдаться доминирующий максимум, который будет ярко выраженным по сравнению с другими локальными максимумами. На Рис. 3 представлены зависимости числа совпадающих трасс от сдвига (в пределах ± 100 мкм) относительно друг друга сравниваемых следов.

Для заведомо парных следов с ярко выраженными комплексами совпадающих трасс, зависимость имеет единственный доминирующий мак-

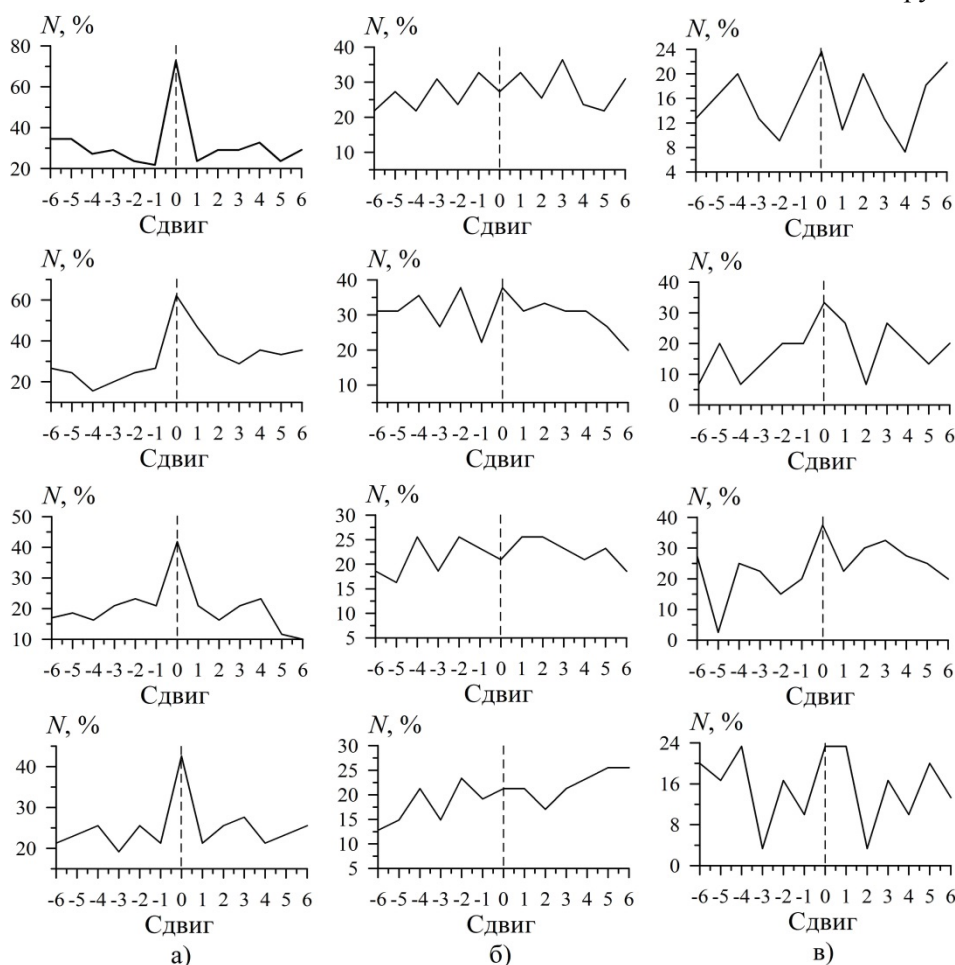


Рис. 3. Процент числа совпадающих трасс в сравниваемых вторичных следах на пулях, выстреленных из пистолета Макарова в зависимости от их сдвига относительно друг друга
а) следы «парные» и тождественные; б) следы «парные» с недостаточной уникальностью совпадающих признаков, необходимой для признания следов тождественными; в) следы заведомо «непарные» и нетождественные

симум (Рис. 3, а). Для парных следов с малым числом совпадающих трасс, когда эксперт не может обосновать тождественность сравниваемых следов и для непарных следов, ярко выраженного максимума не наблюдается (Рис. 3, б, в).

Следует отметить, что достаточно часто следы, сформированные одним полем нарезки, характеризуются малым числом совпадающих трасс. Это объясняется тем, что трассы на данных пулях сформированы в основном разными слеодообразующими участками поверхности одного поля нарезки. В этом случае следы невозможно признать криминалистически тождественными, хотя физически они и были сформированы одним полем нарезки.

С учетом предложенных критериев предлагается следующий алгоритм оценки вероятности случайного совмещения n трасс в сравниваемых следах:

1. Предварительная обработка исходных изображений и их бинаризация методом сечения кривой средней яркости [8].

2. Подсчет числа совпадающих трасс и оценка вероятности ($P_{in.}$) случайного совмещения n трасс в рамках модели следов с одной шириной трасс (1). При этом парными признаются те трассы, которые при совмещении следов перекрываются не менее чем на 50 % по ширине.

3. При минимальной вероятности случайного совмещения трасс более 0.05 (уникальность $Z < 1.3$), сравниваемые следы не признаются тождественными и исключаются из дальнейшего исследования.

4. Проверка наличия доминирующего максимума совпадающих трасс если $Z \geq 1.3$. Данный максимум должен наблюдаться только в одном положении и превышать по амплитуде иные локальные максимумы не менее, чем на 20%. Если такой максимум отсутствует, то исследование данных следов прекращается.

5. Расчет вероятности случайного совмещения каждой серии последовательно совпадающих трасс с учетом их ширины (P_i) по формуле (2) (при наличии доминирующего максимума совпадающих трасс) и оценка в соответствии с формулой (3) общей вероятности $P_{all}(A) = P_{in.} * P_i$.

6. Формирование приоритетного списка по степени схожести следов исходя из значения

$P_{all}(A)$: чем больше уникальность Z , тем выше положение тестового объекта в приоритетном списке.

3. Реализация методики в автоматическом режиме

3.1. Бинаризация исходных изображений

Для упрощения процедуры автоматической оценки ширины трасс изображение целесообразно перевести в бинарный вид. Как было показано в работе [8], понятие ширины трассы на изображениях, представленных в градациях серого неоднозначно, поскольку границы строго не определены и плавно переходят в фон. Кроме того, ширина трассы может меняться на протяжении ее длины и претерпевать разрывы.

В работе [8] предложен алгоритм бинаризации, основанный на сечении кривой средней яркости в столбцах матрицы изображения. Предварительно исходные изображения вторичных следов поворачивали на угол наклона нарезки, чтобы трассы на изображениях располагались вертикально. Бинаризация по кривой яркости позволяет уменьшить влияние пространственных шумов, локальных изменений ширины трасс, а также исключить влияние разрывов трасс на корректное формирование бинарного изображения следа.

Суть метода бинаризации заключается в следующем. По исходному изображению, представленному в градациях серого (значение яркости меняется в диапазоне от 0 до 255), строится нормированная кривая средней (по

столбцам) яркости $H_j = \frac{1}{255 \cdot M} \sum_{i=1}^M a_{i,j}$, где $a_{i,j}$ -

пиксель с яркостью a , i - номер строки, j - номер столбца в матрице изображения, M - количество строк. В местах положения трасс на кривой наблюдаются локальные максимумы яркости. Для подавления высокочастотных пространственных шумов к кривой яркости $H(j)$ применялся Фурье-фильтр нижних частот с частотой среза, при которой относительная величина энергии, теряемой за счет низкочастотной фильтрации, не превышает эмпирически подобранного значения 10% от всей энергии спектра Фурье. Далее на сглаженной

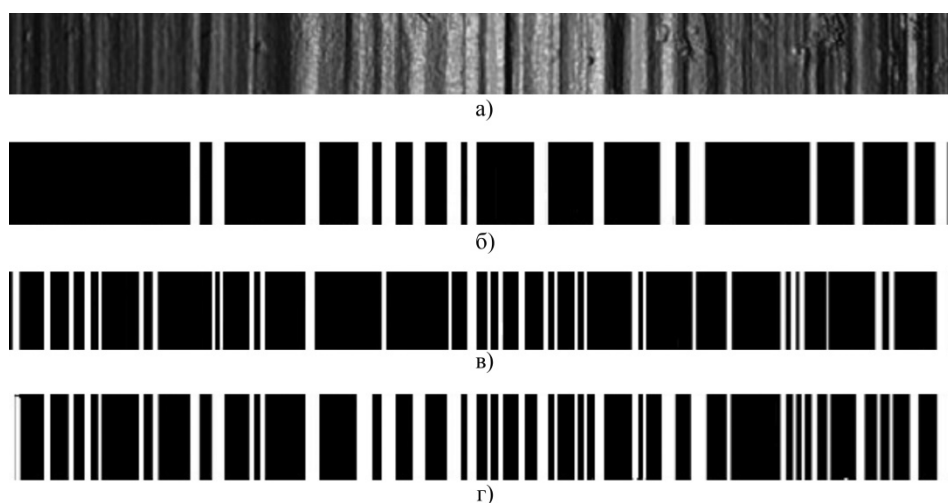


Рис. 4. Двухэтапная бинаризация изображения вторичного следа

а) исходное изображение вторичного следа с трассами, расположенными вертикально; б) бинарное изображение с выделенными широкими трассами; в) бинарное изображение с выделенными тонкими трассами; г) сумма бинарных изображений на рис.4.б),в)

кривой яркости находятся координаты локальных максимумов и локальных минимумов. Для каждого локального максимума строится трасса, ширина которой определяется точками пересечения кривой H_k с горизонтальной прямой, проведенной на уровне P . Порог сечения P определяется как середина интервала между текущим локальным максимумом и ближайшим к нему минимумом.

Проведенные исследования показали, что при бинаризации предложенным способом, широкие трассы, имеющие неоднородную структуру, могут быть преобразованы каждая в две-три узких трассы. При этом уменьшение частоты среза для обеспечения более корректного преобразования широких трасс, ведет к потере некоторых ярко выраженных узких трасс. Для решения данной проблемы предлагается исследуемые следы подвергать двум видам фильтрации – низкочастотной и высокочастотной. Первая из них позволяет корректно формировать бинарные изображения широких трасс (с потерей ряда узких трасс). Высокочастотная фильтрация позволяет корректно формировать бинарные изображения узких трасс. В результате для каждого следа отдельно формируются два бинарных изображения с выделенными отдельно тонкими и широкими трассами. Далее оба бинарных изображения складываются.

Для выделения широких трасс предлагается использовать фильтр Фурье нижних частот с более низкой частотой среза, чем в работе [8]. Для

подавления шумов на кривой яркости локальные выбросы (локальные максимумы, не превышающие значение 0.1) обнуляются. Применяя описанный выше способ бинаризации, получается бинарное изображение, в котором из исходного изображения выделены только широкие трассы (Рис. 4, а, б). Далее к исходной кривой яркости $H(j)$ применяется фильтр высоких частот с последующим подавлением локальных максимумов, принимающих значение менее 0.1 от динамического диапазона яркости. В результате формируется бинарное изображение, содержащее трассы малой ширины (Рис. 4, в). Итоговое бинарное изображение следа получается путем сложения бинарных изображений с выделенными широкими и тонкими трассами (Рис. 4, г). Как видно из последнего рисунка предлагаемый метод позволяет преобразовать исходные изображения, представленные в градациях серого, в бинарные с незначительными искажениями трасс по ширине.

3.2. Оценка ширины трасс

Как отмечалось ранее, при совмещении следов парные трассы должны совмещаться не менее чем на 50% по ширине. Для каждой трассы ширина определяется путем подсчета количества подряд идущих белых пикселей, разделенных черным цветом. Неидеальное совмещение центров парных трасс обусловлено разными причинами, такими, как погрешности сшивки кадров при формировании цифрового изобра-

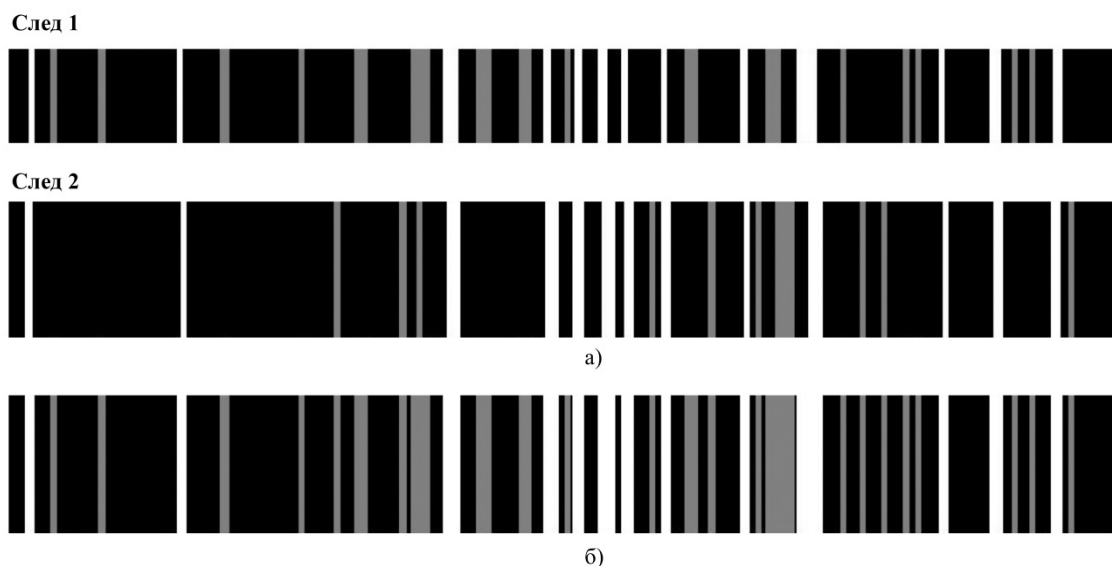


Рис. 5. Сравнение изображений вторичных следов, представленных в "триадном" виде"

а) «триадное» представление изображений парных следов; б) суммарное изображение

жения развертки боковой поверхности пули, разным положением пуль в каретке при их сканировании, разным диаметром пуль (в пределах технологического допуска) и т.д. Различие по ширине парных трасс обусловлено в основном вариативностью протекания явления выстрела.

3.3. Проверка наличия доминирующего максимума совпадающих трасс

Наличие или отсутствие доминирующего максимума числа совпадающих трасс определяется следующим образом. Если при сдвиге изображения одного следа относительно другого на величину ± 100 мкм с шагом 4 мкм максимум числа совпадающих трасс (при условии совмещения трасс от граней полей нарезов) превышает значения локальных максимумов не менее чем на 20%, то данные следы потенциально могут быть парными и криминалистически тождественными. В этом случае их сравнение следует продолжить. За начальное положение сравниваемых следов принимается положение, при котором трассы от холостой и боевой грани поля нареза на одном следе совпадают с аналогичными трассами на втором следе. В случае невозможности такого совмещения следы не могут быть признаны парными, т.е. сформированными одним полем нареза.

3.4. Подсчет серий парных трасс

Для автоматизации подсчета серий совпадающих трасс предлагается от бинарного представления следов, перейти к "триадному", когда вместо двух градаций цвета используется три, например значения яркостей 0, 0.5 и 1. Пересчет в триадные изображения происходит по следующему алгоритму. Черным цветом заливается фон, серым цветом заливаются трассы, которые признаны непарными, а белым цветом окрашиваются трассы, признанные парными (совмещенными). На Рис. 5, б) представлен пример двух таких парных следов, полученных из исходных бинарных изображений, представленных на Рис. 5, а). Для подсчета серий совпадающих трасс триадные изображения первого и второго следа складываются по правилам, схожим с дизъюнкцией (Табл. 1).

Табл. 1. Используемые правила сложения триадных изображений

Переменная x	Переменная y	Сумма x и y
0	0	0
0	0.5	0.5
0.5	0	0.5
0.5	0.5	0.5
1	0	1
0	1	1
1	1	1

В результате сложения изображений на выходе получается триадное изображение, в котором отдельные трассы могут несколько увеличить свою ширину (Рис. 5, б). Число трасс в каждой серии, состоящей из подряд совпадающих трасс, легко рассчитать путем подсчета количества перепадов уровней из 1 в 0 между двумя серыми трассами. В результате такого подсчета по Рис. 5, в видно, что имеется две серии из 3-х и 2-х последовательно совпадающих трасс.

При подсчете ширины трасс может оказаться, что парные трассы имеют ширину, соответствующую разным диапазонам (п. 2.2.). В этом случае из двух парных трасс ширина оценивается по наиболее широкой из них.

4. Тестирование методики оценки уникальности комплексов совмещенных трасс в сравниваемых следах

Для проверки работоспособности предложенной методики было проведено сравнение как парных, так и непарных следов в «ручном» (неавтоматическом) и автоматическом режиме, при котором были проведены основные операции (бинаризация, подсчет совпадающих трасс, серий последовательно совпадающих трасс, расчет вероятности). В качестве исследуемых были выбраны следы, характерные для 9 мм пуль, выстреленных из пистолета Макарова, а также для 7.62 мм пуль, выстреленных из автомата Калашникова (АКМ). Данный выбор определялся тем, что следы, характерные для этих моделей существенно различаются по количеству и выраженности трасс. Во вторичных следах 9 мм пуль число трасс обычно лежит в диапазоне 35 - 50, а 7.62 мм пуль в диапазоне 10-20. В эксперименте использовалось 20 следов парных, 20 следов непарных пистолета Макарова, 10 следов парных, 10 следов непарных АКМ и 10 следов парных, 10 следов непарных следов АК-74. Следует отметить, что для многих непарных следов с малым числом трасс (например, менее 5-7) не удается совместить более 1 трассы.

Предварительно парные следы, характерные для каждой модели оружия, были разделены экспертом на три группы. В первую включены следы с высоким коэффициентом сходства,

когда не возникает сомнений в наличии криминалистического тождества. Следы со средним коэффициентом сходства, когда наиболее вероятно формирование положительного вероятного вывода образовали вторую группу. Третья включала следы с малой степенью схожести, когда эксперт не может обосновать тождество парных следов.

Применение в неавтоматическом и автоматическом режимах предлагаемой методики оценки уникальности комплексов совпадающих трасс для парных вторичных следов показало следующее. Для пуль, выстреленных из пистолета Макарова: для следов первой группы коэффициент уникальности Z лежит в пределах 6-8 единиц; для следов второй группы Z лежит в пределах 4-5 единиц; для третьей группы коэффициент уникальности практически всегда менее 3-х единиц.

Для пуль, выстреленных из автомата Калашникова: для следов первой группы коэффициент уникальности Z обычно более 5 единиц; для следов второй группы Z лежит в пределах 3-4 единиц; для третьей группы коэффициент менее 2-х единиц.

Оценка уникальности комплексов совпадающих трасс для заведомо *непарных* следов показала, что искомый коэффициент для следов на пулях ПМ лежит в пределах 1-3, а для АКМ в диапазоне 1-2.

Таким образом, при проведении проверок в автоматическом режиме по пулетеке при значениях Z менее 3-х не следует включать в приоритетный список следы, характерные для пуль, выстреленных из пистолета ПМ, а при Z менее 2-х следы, характерные для пуль, выстреленных из АКМ.

Заключение

В работе предложена методика оценки схожести следов на выстреленных пулях, позволяющая учесть не только количество парных трасс-признаков, но и их структуру и ширину. Предложен критерий уникальности комплексов совпадающих трасс в следах на выстреленных пулях, основанный на оценке вероятности случайного совпадения трасс. Эффективность предложенной методики показана на примере следов на пулях, выстреленных из пистолета

Макарова и автомата Калашникова. Получены характерные значения предложенного критерия уникальности для данных двух видов огнестрельного оружия.

Предлагаемый способ оценки уникальности совпадающих комплексов трасс в сравниваемых вторичных следах может быть рекомендован для количественного обоснования категорических положительных выводов.

Литература

1. А.В. Кокин, К.В. Ярмук Судебная баллистика и судебно-баллистическая экспертиза // Учебник. Москва: ЮНИТИ: Закон и право. 2015. - 350 с.
2. Eric R. Collins The Identification of Fired Bullets Having Bearing Surfaces with General Contour Variations but Minimal Fine Striae // AFTE Journal--Volume 44 Number 2--Spring 2012. pp.119-131.
3. PCAST. Report to the President - Forensic Science in Criminal Courts: Ensuring Scientific Validity of Feature-Comparison Methods. Сентябрь 2016.
4. Brian J. Heard Examining and Interpreting Forensic Evidence. // Handbook of Firearms and Ballistics. Second Edition, 2008. pp. 419.
5. Biasotti A.A. Statistical Study of the Individual Characteristics of Fired Bullets // Journal Forensic Sciences. 1959. 4 (1). P.34-50
6. Erin Zalewski Mathematics in Forensic Firearm Examination // 2015. pp.72.
7. Федоренко В.А., Мыльцина О.А. Концепция математической модели оценки уникальности наборов совпадающих трасс во вторичных следах на выстреленных пулях // Известия Саратовского государственного университета. Новая серия. Экономика. Управление. Право. 2016. В.2. С. 209-213.
8. В.А. Федоренко, Е.В. Сидак, П.В. Гиверц Бинаризация изображений следов на выстреленных пулях для подсчета числа совпадающих трасс // Информационные технологии и вычислительные системы. 2016. В.3. С.82-88.

Федоренко Владимир Александрович. ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», Саратов, Россия, заведующий лабораторией, кандидат физико-математических наук, доцент. Количество печатных работ: более 80 (в т.ч. 2 монографии). Область научных интересов: судебная баллистика, идентификация огнестрельного оружия, обработка цифровых изображений. E-mail: fed77@yandex.ru

Навроцкая Елена Владимировна ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», Саратов, Россия, инженер-программист, кандидат физико-математических наук. Количество печатных работ: 20. Область научных интересов: идентификация оружия, экспериментальное моделирование биологических систем, обработка цифровых изображений. E-mail: sidakev@gmail.com

Criteria and algorithm of the evaluation of the uniqueness of the complexes of matching tracks in the traces on the shot bullets

V. A. Fedorenko, E. V. Navrotskaya

Saratov State University, Saratov, Russia

Abstract. In the paper we propose a new algorithm for estimating of the similarity of traces on shot bullets. The algorithm is based on evaluation of the probability of random coincidence of characteristics, individual for each weapon. We proposed an algorithm for the automatic search of the identical traces. In comparison with the known approaches, the proposed method allows to take into account the structure of traces and their width. We proposed an additional criterion of the potential identity of traces. The criterion is based on the analysis of the dependence of the number of coincident traces on the shift of the traces. This criterion makes it possible to increase the reliability of the evaluation of the uniqueness of complexes of coincident traces. Investigations of tracks on bullets fired from a Kalashnikov's Automatic Rifle and Makarov pistol have shown the effectiveness of the proposed technique. The proposed method will allow to objectify the categorical positive conclusion of the expert about the identity of the compared traces on the shot bullets.

Keyword: image analysis, tracks on the shot bullets, coincident traces, pair tracks, Fourier filter, priority list.

DOI 10.14357/20718632190110

References

1. A.V. Kokin, K.V. YArmak Sudebnaya ballistika i sudebno-ballisticheskaya ehkspertiza // Uchebnik. Moskva: YUNITI: Zakon i pravo. [Judicial ballistics and forensic ballistic examination // Textbook. Moscow: UNITY: Law] 2015. - 350 p.
2. Eric R. Collins The Identification of Fired Bullets Having Bearing Surfaces with General Contour Variations but Minimal Fine Striae // AFTE Journal. 2012. -V. 44, -N.2, pp.119-131.
3. PCAST. Report to the President - Forensic Science in Criminal Courts: Ensuring Scientific Validity of Feature-Comparison Methods. September 2016.
4. Brian J. Heard Examining and Interpreting Forensic Evidence. // Handbook of Firearms and Ballistics. Second Edition, 2008. pp. 419.
5. Biasotti A.A. Statistical Study of the Individual Characteristics of Fired Bullets // Journal Forensic Sciences. 1959. 4 (1). P.34–50
6. Erin Zalewski Mathematics in Forensic Firearm Examination // 2015. pp.72.
7. Fedorenko V. A., Myltsina O. A. Kontsepsiya matematicheskoy modeli otsenki unikalnosti naborov sovpadayushchikh trass vo vtorichnykh sledakh na vystrelennykh pulyakh. [The concept of a mathematical model of evaluation of the uniqueness of the matching sets of tracks in the secondary vystelennykh marks on the bullets]. Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Economics. Management. Law. 2016. 2: 209–213.
8. Fedorenko V. A., Sidak E. V., Giverts P. V. Binarizatsiya izobrazheniy sledov na vystrelennykh pulyakh dlya podscheta chisla sovpadayushchikh trass. [Binarization of images of traces on fired bullets to count the number of matching tracks]. Informatsionnye nekhnologii i vychislitel'nye sistemy [Journal of Information Technologies and Computing Systems]. 2016. 3: 82–88.

Fedorenko V. A. PhD, Saratov State University, 410012, 83 Astrakhanskaya Street, Saratov, Russia, head of laboratory, author of more than 80 publications and 2 monographs. Research interests: judicial ballistics, identification of firearms, processing of digital images. E-mail: fed77@yandex.ru

Navrotskaya E. V. PhD, Saratov State University, 410012, 83 Astrakhanskaya Street, Saratov, Russia, software engineer, author of more than 20 publications. Research interests: weapon identification, experimental modeling of biological systems, processing of digital images. E-mail: sidakev@gmail.com