



УДК 343.98.065

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УНИКАЛЬНОСТИ КОМПЛЕКСОВ ТРАСС, СОВМЕЩЕННЫХ ВО ВТОРИЧНЫХ СЛЕДАХ



В. А. Федоренко, Е. В. Сидак, О. А. Мыльцина

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

Сидак Елена Владимировна, кандидат физико-математических наук, инженер-программист лаборатории криминалистического материаловедения, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, sidakev@email.com

Мыльцина Ольга Анатольевна, кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры теории вероятностей, математической статистики и управления стохастическими процессами, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, omyltsina@yandex.ru

Введение. Существующие на сегодняшний день критерии тождественности динамических следов на выстреленных пулях нельзя признать удовлетворительными, поскольку они либо оказываются излишне строгими, либо не учитывают идентификационно значимую информацию о структуре совпадающих трасс. Поэтому категорический вывод о тождественности сравниваемых следов эксперт формирует, опираясь на личный опыт, без оценки вероятности случайной реализации данного события. В работе рассматривается методика оценки уникальности комплексов совпадающих трасс в сравниваемых следах. В целом, решение данной проблемы позволяет объективизировать выводы эксперта. **Теоретический анализ.** В работе предлагается модель, учитывающая структуру совпадающих трасс в сравниваемых следах. На основе модели предлагается методика оценки вероятности случайного совпадения трасс

(уникальности комплексов совпадающих признаков). Приоритетный список по степени схожести следов предлагается формировать на основе оценки уникальности комплексов совпадающих трасс. **Эмпирический анализ.** Приводятся результаты применения разработанной методики с использованием предложенного критерия парности для следов, характерных для двух моделей оружия: автомата Калашникова и пистолета Макарова. **Результаты.** Сравнение тестовых заведомо парных и непарных следов с оценкой уникальности комплексов совпадающих трасс показало эффективность предложенной методики и объективность оценки степени схожести следов.

Ключевые слова: выстреленные пули, вторичные следы, идентификация оружия, вероятность случайного совмещения трасс, пистолет Макарова, АКМ.

DOI: 10.18500/1994-2540-2018-18-2-217-221

Введение

В работе исследуется возможность оценки количественных критериев парности вторичных следов на выстреленных пулях на основе расчета вероятности случайного совпадения трасс (уникальности комплексов совпадающих признаков). В качестве информационных следов анализируются вторичные следы, образованные полями нарезов, которые имеют четко обозначенные границы 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.

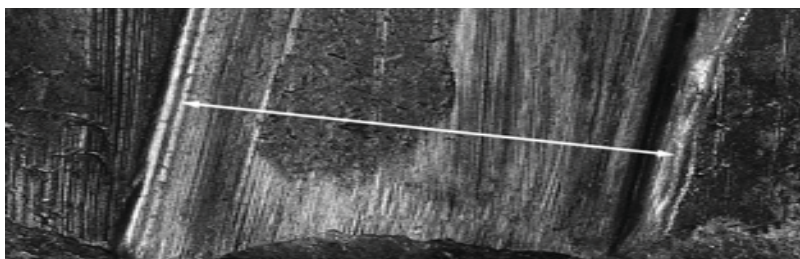


Рис. 1. Вторичный след на поверхности выстреленной пули

Fig.1. Secondary trace on the surface of a shot bullet

В работе [1] был предложен критерий схожести следов, который заключается в подсчете числа трасс в сериях, состоящих из последовательно совпадающих трасс. Для возможного обоснования тождества (при совпадении групповых признаков) необходимо, чтобы одна из серий включала не

менее 8 последовательно совпадающих трасс или две серии не менее чем по 5 последовательно совпадающих трасс в каждой. Одним из недостатков данного критерия является отсутствие учета числа трасс в сравниваемых следах. Из общих соображений следует, что при «плотном» заполнении



сравниваемых следов трассами число случайно совпадающих трасс будет большим. Соответственно, вероятность появления серий из подряд совпадающих трасс резко возрастет.

Другая концепция оценки уникальности совпадающих комплексов трасс представлена в работе [2], которая основана на оценке вероятности случайного совпадения трасс. Подход основан на следующих предположениях: каждая трасса в следе может занимать строго определенную позицию; все трассы имеют среднюю ширину 20 мкм. Чем меньше вероятность случайного совмещения n трасс в исследуемом и тестовом следе, тем выше уникальность комбинации совпадающих трасс.

Расчеты показали, что если совпадает менее 50% трасс от их общего числа в сравниваемых следах, то невозможно получить вероятность случайного совмещения менее 0,05. Данный критерий схожести следов нельзя назвать достаточно надежным и эффективным, поскольку на практике при совмещении 50% трасс в отдельных случаях возможно обоснование вывода о криминалистической тождественности исследуемых следов.

Таким образом, результат расчетов, проведенных в рамках предложенной ранее модели, нельзя признать удовлетворительным, поскольку не учитывается важная идентификационно значимая информация, а именно структура совпадающих трасс, которую можно выразить через их ширину. Действительно, эксперт при сравнении следов обращает внимание не только на совмещение центров трасс, но и на то, что широкая трасса совпадает с широкой, узкая с узкой и т.д.

Теоретический анализ

Как показано в работе [2], оценка вероятности случайного совпадения n трасс (P_{in}), без учета очередности совпадающих трасс сводится к стандартной задаче теории вероятности и определяется выражением

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

где N_1 – количество трасс в первом следе, N_2 – количество трасс во втором следе, i – текущее значение от номера n до минимального значения из N_1, N_2 ($\min(N_1, N_2)$), N – количество возможных позиций (например, в рассматриваемой модели 9 мм пули, выстреленной из пистолета Макарова $N = 100$), $N-N_1$ – 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 ; n – максимальное число совпадающих трасс.

В качестве примера на рис. 2 приведена зависимость вероятности $P_{in}(A)$ от количества совпавших трасс n при N_1 и N_2 , лежащих в диапазоне от 30 до 40 (рис. 2, а) и от 50 до 70 трасс (рис. 2, б). Видно, что при совпадении 50% трасс (от их общего числа) вероятность их случайного совмещения – порядка $5 \cdot 10^{-2}$.

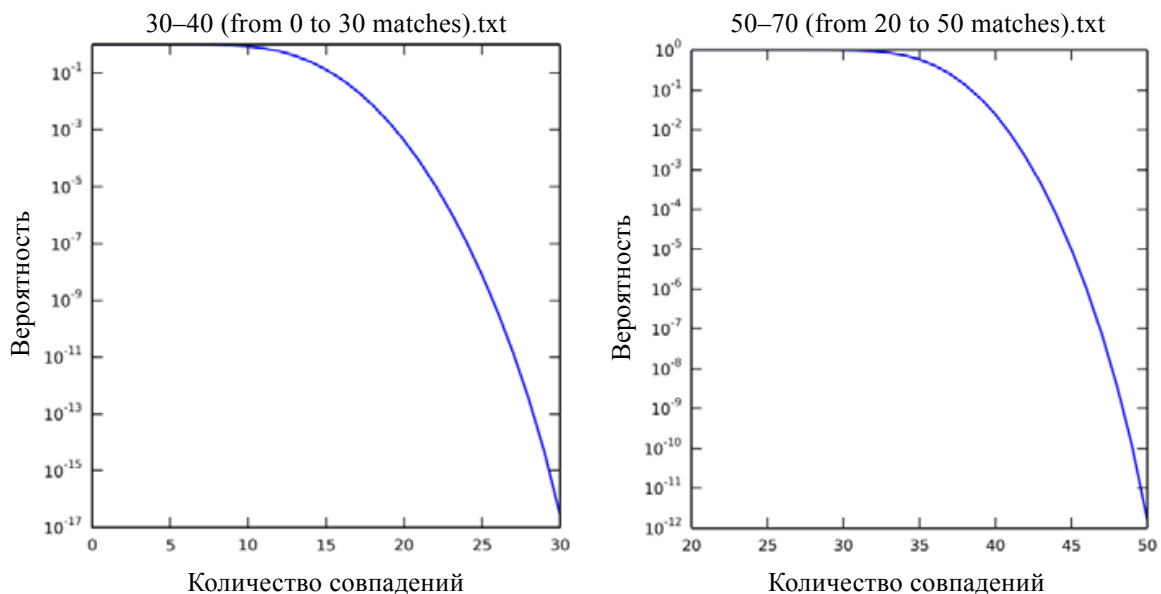


Рис. 2. Вероятность случайного совпадения комплекса из n трасс в зависимости от числа совмещенных трасс
 Fig. 2. The probability of a random coincidence of a complex of n traces, depending on the number of paired traces



Для учета ширины совмещенных трасс при оценке вероятности их случайного совпадения рассмотрим следующую модель. Предположим, что в следе можно выделить три вида трасс, например, шириной 4–10 мкм, 10–20 мкм и более 20 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 10–20 мкм и r_3 – число трасс шириной более 20 мкм. Тогда вероятность случайного сочетания k трасс различной ширины для каждой серии можно определить следующим выражением:

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

где $r_1 + r_2 + r_3 = k$, $P(r_1, r_2, r_3) = \frac{k!}{r_1! r_2! r_3!}$ – вероятность, определяемая количеством возможных сочетаний трасс разной ширины в серии из k трасс, j – номер серии.

Если таких серий несколько, то вероятности перемножаются как для независимых событий:

$$P_l = \prod_{j=1}^m \left\{ \frac{P_j(r_1, r_2, r_3)}{3^k} \right\}, \quad (2')$$

где m – количество серий.

Итоговая формула оценки вероятности случайного совпадения трасс-признаков с учетом их ширины определяется следующим выражением:

$$P_{all}(A) = P_{in} \cdot P_l =$$

$$= \left\{ \sum_{i=n}^{\min N_1, N_2} [C_{N_1}^i C_{N-N_1}^{N_2-n}] / C_N^{N_2} \right\} \cdot \prod_{j=1}^m \left\{ \frac{P_j(r_1, r_2, r_3)}{3^k} \right\}. \quad (3)$$

Оценка вероятности случайного совмещения трасс по формуле (2) для серий, состоящих из 3–7 трасс с 2- и 3-уровневой градацией их ширины, показала, что значения вероятности для отдельных серий могут лежать в диапазоне от 0,33 до 0,05. Присутствие нескольких таких серий может уменьшить вероятность случайного совмещения трасс с именно таким набором ширины в среднем на 3–4 порядка.

Введем понятие уникальности комплексов совмещенных трасс Z как величину:

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

Тогда можно констатировать, что уникальность комплексов совмещенных трасс может увеличиться на несколько единиц при учете ширины последовательно совпадающих трасс.

Важным признаком потенциально возможной «парности» сравниваемых следов, пригодных к идентификации, является следующее. При корректном совмещении трасс криминалистически тождественных следов только в одном положении может наблюдаться максимальное число совпадающих трасс, что соответствует теории криминалистической идентификации. На рис. 3 в качестве примера приведены зависимости числа

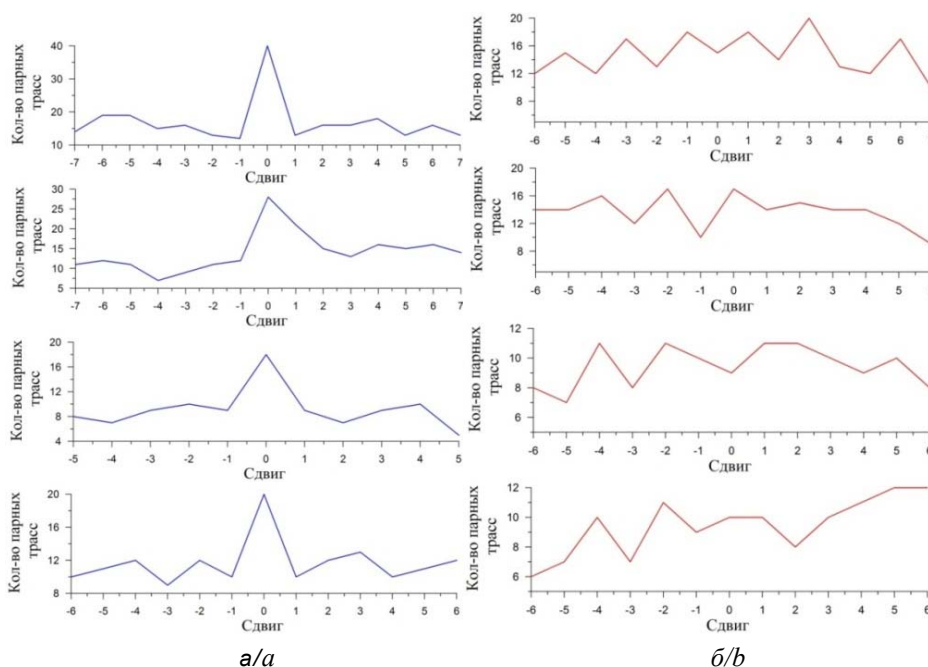


Рис. 3. Зависимость числа совпадающих трасс от сдвига следов один относительно другого: а – сравниваемые следы парные; б – сравниваемые следы непарные

Fig. 3. Dependence of the number of coincident traces on the trace shift: a – comparable traces are paired; b – comparable traces are unpaired



совпадающих трасс от сдвига относительно друг друга четырех парных (рис. 3, а) и четырех непарных (рис. 3, б) следов.

Видно, что для непарных следов на графиках отсутствуют явно выраженные глобальные максимумы совпадающих трасс. Этот фактор необходимо учитывать при сравнении следов как в «ручном» режиме, так и автоматическом.

Следует отметить, что некоторые парные следы также характеризуются отсутствием ярко выраженного доминирующего максимума. Как правило, сравнение таких следов не позволяет признать их тождественными. Это не противоречит физическому смыслу, так как в этом случае трассы в парных следах сформированы разными участками одного поля нареза.

На основе проведенных исследований предлагается следующая методика оценки вероятности случайного совмещения n трасс в сравниваемых следах, содержащих N_1 и N_2 трасс соответственно.

1. Находится вероятность (P_{in}) случайного совмещения n трасс по формуле (1). Если вероятность более 0,05 (уникальность $Z < 1,3$), то тождество не может быть обоснованно, даже если следы при этом будут парными. Если вероятность менее 0,05 (уникальность $Z > 1,3$), то переходят к проверке наличия доминирующего максимума совпадающих трасс.

2. Проверяется условие наличия доминирующего максимума, который должен наблюдаться только в одном положении (групповые признаки при этом совпадают). Если доминирующий максимум присутствует, то переходят к 3-му этапу – расчету вероятности случайного совмещения серий трасс с учетом их ширины.

3. Определяются серии подряд совпадающих трасс и число трасс в каждой из них, далее рассчитывается вероятность случайного совмещения серий трасс с учетом их ширины (P_i) по формуле (2).

4. Подсчитывается общая вероятность как произведение ранее найденных вероятностей по формуле (3).

5. Строится приоритетный список исходя из значения $P_{all}(A)$: чем меньше вероятность (больше уникальность Z), тем выше положение тестового объекта в приоритетном списке.

Эмпирический анализ

Для проверки корректности предложенной методики оценки уникальности комплексов совмещенных трасс было проведено сравнение как парных, так и непарных следов в «ручном»

(неавтоматическом) режиме. В качестве исследуемых были выбраны следы, характерные для 9 мм пуль, выстреленных из пистолета Макарова (ПМ), 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 трасс. Во вторичных следах 9 мм пуль число трасс обычно лежит в диапазоне 35–50 единиц, а 7.62 мм пуль – в диапазоне 10–20.

Предварительно парные следы, характерные для каждой модели оружия, были разделены экспертом на три группы. В первую включены следы с высоким коэффициентом сходства, когда у эксперта не возникает сомнений в наличии криминалистического тождества. Следы со средним коэффициентом сходства, когда наиболее вероятно формирование положительного вероятного вывода, сформировали вторую группу. Третья группа включает следы с малой степенью схожести, когда эксперт не может обосновать тождество парных следов.

Результаты

Применение 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 – в пределах 4–5 единиц; для третьей группы коэффициент уникальности практически всегда менее 3 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 единиц.

Оценка уникальности комплексов совпадающих трасс для непарных следов показала, что искомый коэффициент для следов на пулях ПМ лежит в пределах 1–3, иногда приближается к 4, а для АКМ – в диапазоне 1–2.

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



Список литературы

1. Biasotti A. A. Statistical Study of the Individual Characteristics of Fired Bullets // *Journal Forensic Sciences*. 1959, Jan. 4 (1). P. 34–50.
2. Федоренко В. А., Мылтыцина О. А. Концепция мате-

матической модели оценки уникальности наборов совпадающих трасс во вторичных следах на выстреленных пулях // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право*. 2016. Т. 16, вып. 2. С. 209–213. DOI: 10.18500/1994-2540-2016-16-2-209-213.

Образец для цитирования:

Федоренко В. А., Сидак Е. В., Мылтыцина О. А. Методика оценки уникальности комплексов трасс, совмещенных во вторичных следах // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право*. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 217–221. DOI: 10.18500/1994-2540-2018-18-2-217-221.

The Method of the Estimation of Uniqueness of Route Complexes in Secondary Traces

V. A. Fedorenko, E. V. Sidak, O. A. Myltsyna

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

Elena V. Sidak, ORCID 0000-0002-1649-440X, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, sidakev@gmail.com

Olga A. Myltsyna, ORCID 0000-0003-4718-2772, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, omyltsina@yandex.ru

Introduction. The existing criteria for the pairing of traces on shot bullets can not be considered satisfactory. They turn out to be too strict, or do not take into account the identifiable information about the structure of the coincident traces. Therefore, today expert makes categorical conclusion about the identity of the compared traces mainly on bases on his own experience without assessing the probability of a random realization of this event. In this paper, a technique for estimation of the uniqueness of the route complexes in compared traces is considered. In general, the solution of this problem allows us to objectify the expert conclusions. **Theoretical analysis.** In work the model describing the structure of the routes displayed on the surface of a shot bullet is proposed. On the

basis of this model, a method for assessment of the probability of a random coincidence of the routes (the uniqueness of the complexes of coinciding routes) is proposed. Priority list of the similarity of traces is proposed to be formed on the basis of an assessment of the uniqueness of complexes of coincident routes. **Empirical analysis.** The results of applying the proposed methodology using the proposed pairing criterion are presented. We used two models of weapons: AKM and Makarov pistol. **Results.** Comparison of test paired and unpaired traces with an assessment of the uniqueness of complexes of coincident routs showed the effectiveness of the proposed methodology and the objectivity of assessing the degree of similarity of the traces.

Key words: shot bullets, secondary traces, identification of weapons, probability of random coincidence of traces, Makarov pistol, AKM.

References

1. Biasotti A.A. Statistical Study of the Individual Characteristics of Fired Bullets. *Journal Forensic Sciences*, 1959, Jan. 4 (1), pp. 34–50.
2. Fedorenko V. F., Myltsina O. A. The Concept of Mathematical Model of the Assessment of Uniqueness of Sets of Coinciding Routes in Secondary Traces on the Shot Bullets. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Economics. Management. Law*, 2016, vol. 16, iss. 2, pp. 209–213. DOI: 10.18500/1994-2540-2016-16-2-209-213 (in Russian).

Cite this article as:

Fedorenko V. A., Sidak E. V., Myltsyna O. A. The Method of the Estimation of Uniqueness of Route Complexes in Secondary Traces. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Economics. Management. Law*, 2018, vol. 18, iss. 2, pp. 217–221 (in Russian). DOI: 10.18500/1994-2540-2018-18-2-217-221.