

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии  
и управления качеством

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАТИВНОСТИ МИКРОРЕЛЬЕФА  
СТАТИЧЕСКИХ СЛЕДОВ БОЙКОВ И ПРИНЦИПОВ  
СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки магистратуры 2 курса 208 группы  
направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
профиль «Криминалистическое материаловедение»  
факультета нано- и биомедицинских технологий

Мищенко Виктории Алексеевны

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

В.А. Федоренко

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.Б. Вениг

инициалы, фамилия

**Введение.** Идентификация оружия по следам на выстрелянных пулях является сложной экспертной задачей, решение которой осложняется рядом негативных факторов. Кроме того, в судебной баллистике отсутствуют какие-либо количественные критерии оценки уникальности самих комплексов признаков, отобразившихся в следах. В данной работе исследование вариативности микрорельефа статических следов бойков и принципов сравнительного анализа их изображений.

Актуальность работы обусловлена широким внедрением автоматизированных баллистических идентификационных систем (АБИС) в баллистические лаборатории экспертных учреждений России.

Баллистические системы позволяют автоматизировать проведение проверок по гильзотекам, содержащим тысячи однотипных объектов. Однако в отдельных случаях системы допускают «промахи», то есть не могут найти в массиве электронной гильзотеки «парный» след (след, оставленный тем же экземпляром оружия, что и исследуемый). Кроме этого, иногда «парный» след из тестового массива ставится в конце приоритетного списка, что осложняет работу эксперта. Это обусловлено, в первую очередь, большим морфологическим разнообразием и высокой вариативностью индивидуальных признаков оружия, отобразившихся в следах бойков, а также неравномерным освещением следов из-за их сложной формы.

Рабочая поверхность капсюлей различных патронов отечественного и зарубежного производства характеризуется шероховатостью, которая, вероятно, не всегда может быть полностью сглажена ударом бойка и действием пороховых газов в момент выстрела. Можно предположить, что сглаживание рельефных неоднородностей зависит от многих факторов, таких как глубина каверн, твердость фольги колпачка капсюля, сила удара бойка, давление пороховых газов и так далее. Исследование отображения таких неоднородностей в статических следах бойков является актуальной задачей для понимания причин расхождения признаков в следах, образованных одним бойком.

В работе анализируются основные типы неоднородностей, характерных для поверхности капсюля, а также исследуются их отображения в статических следах бойка.

Выбранная тема исследования является актуальной, поскольку направлена на повышение объективности обоснования категорических выводов при идентификации огнестрельного оружия по следам бойка.

В работе исследуется эффективность применения метода корреляционных ячеек для оценки схожести цифровых изображений следов патронного упора. Актуальность работы определяется необходимостью повышения качества проведения проверок по цифровым изображениям следов на стреляных гильзах при расследовании преступлений, связанных с применением огнестрельного оружия.

Рассматриваются двумерные изображения следов бойков с индивидуализирующими признаками в виде пятен произвольной формы. Предложен комбинированный алгоритм сравнения признаков, включающий сравнение объектов методом потенциальных функций и методом контурного анализа. Сравнение проводится по дескрипторам, не зависящим от ориентации изображений. Показана возможность прогнозирования вероятной вариативности индивидуальных признаков на цифровых изображениях следов бойков путем их бинаризации по разным уровням и фиксации изменения характеристик Эйлера.

Цели выпускной квалификационной работы:

- рассмотреть общие сведения о формировании следов бойков и их групповых и индивидуальных признаках;
- анализ основных типов неоднородностей, характерных для поверхности капсюля, а также исследование их отображения в статических следах бойка;
- исследование следообразования на пластичной и упругой фольге;
- применение традиционного корреляционного анализа и метода корреляционных ячеек для нахождения совпадающих следов бойков;

- исследование характеристик Эйлера для следов с признаками в виде пятен неопределенной формы;
- перспективы применения нейронных сетей для идентификации оружия по следам бойка.

На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обзор научно-технической литературы;
- неоднородности в виде трасс и каверн на поверхности капсюлей от удара бойка;
- применение контурного анализа для оценки схожести формы признаков;
- выделить основные типы индивидуальных особенностей рельефа следов бойков;
- разработать алгоритмы выделения признаков в виде крупных областей и в виде окружностей и последующей бинаризации изображений следов бойков.

Дипломная работа занимает 51 страниц, имеет 22 рисунка и 2 таблиц.

Обзор составлен по 24 информационным источникам.

Во введении рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первая глава представляет собой описание формирования следов оружия на поверхности гильзы и состоит из следующих подразделов: классификация следов огнестрельного оружия на стреляных гильзах, периоды выстрела.

Во второй главе представлено, что рабочая поверхность капсюлей различных патронов характеризуется шероховатостью, которая, вероятно, не всегда может быть полностью сглажена ударом бойка. Можно предположить, что сглаживание рельефных неоднородностей зависит от таких факторов, как глубина каверн, твердость фольги колпачка капсюля, сила удара бойка, давление пороховых газов и т.д. Исследование отображения таких неоднородностей в статических следах бойков является актуальной задачей для понимания причин расхождения признаков в следах, образованных бойком.

Были исследованы характерные шероховатости и неоднородности поверхности капсулей различных патронов.

В третьей главе представлено исследование двумерных изображений следов бойков с признаками в виде пятен произвольной формы, которые по площади намного больше, чем шероховатости поверхности капсуля, позволяет сгладить изображения без потери идентификационных особенностей рельефа. Изображения следов бойков с пространственным разрешением 250x250 пикселей в градациях серого были получены с помощью баллистического сканера «POISC». Из-за сложной формы следов бойков изображения имеют неоднородную засветку. Поэтому предварительно проводилось выравнивание освещения исходных изображений методом гомоморфной обработки изображений.

Изображение можно представить в виде умножения двух сигналов – высокочастотного, содержащего информацию о топографических особенностях изображения, и низкочастотного, определяемого плавным изменением освещенности в пространстве. Улучшение изображения заключается в нормализации его яркости и увеличении контрастности. Путём гомоморфной обработки эту задачу можно свести к линейной.

В качестве меры схожести изображений может выступать коэффициент корреляции или максимум функции взаимной корреляции. Однако из общих соображений ясно, что на результаты корреляции будут оказывать негативное влияние все яркостные неоднородности исследуемых поверхностей, не относящиеся к следам патронного упора. Чтобы по возможности исключить из корреляционного анализа неоднородности, не связанные с исследуемыми следами, в работах был предложен метод конгруэнтных совпадающих ячеек.

Достоинством метода конгруэнтных совпадающих ячеек является то, что в корреляционном анализе участвуют только ячейки, содержащие информацию о сравниваемых следах. В результате для совпадающих следов удастся получить высокую корреляцию по ячейкам.

## Основное содержание работы

**Механизмы формирования следов на донной части гильз.** Выстрелом называется выбрасывание пули из канала ствола оружия энергией пороховых газов. В соответствии с этапами подготовки к выстрелу и самого выстрела следы на гильзах патрона можно разбить на следующие группы следов: заряжания, непосредственно выстрела и эжекции или экстракции гильзы.

**Групповые признаки следов бойков.** Основным из следа на гильзе является след бойка – обычно округлая вмятина на капсюле или прямоугольная на шляпке гильзы малокалиберного патрона.

*След бойка* по своему характеру является статическим объемным оттиском и изоморфно передает форму бойка, являющегося следообразующим объектом. Этот след формируется от удара бойка по капсюлю, в результате чего происходит прогиб металла корпуса капсюля и противоположного по направлению действия давления пороховых газов на внутреннюю поверхность капсюля. Образование следа возможно по причине того, что время процесса нарастания давления, требуемого для его формирования, меньше времени, необходимого для перемещения бойка в исходное положение.

След бойка ценен тем, что при выстреле он образуется всегда и часто специфичен для каждой модели. Его характеризуют следующие параметры:

- форма (круглая, квадратная, прямоугольная и т.д.);
- размер (глубина, диаметр и др.);
- местоположение (в центре, на краю и пр.);
- характер отображения (статический, статическо-динамический).

Форма следов бойка разнообразная, например: у оружия центрального боя – обычно это круглая вмятина с полусферическим или уплощенным дном; у оружия кольцевого воспламенения – это вмятина квадратной, круглой, полукруглой и т.п. формы.

После отработки методики выравнивания яркости изображений была проведена классификация основных форм (типов) индивидуальных признаков оружия, отобразившихся в следах бойка. В процессе анализа следов бойков

более 30 моделей оружия удалось выделить 6 основных морфологических типов индивидуальных признаков на основе которых могут быть сформированы еще и дополнительные комбинированные типы:

- признаки в виде крупных неоднородностей микрорельефа неопределенной формы;

- признаки в виде относительно мелких топографических неоднородностей микрорельефа;

- признаки в виде вложенных друг в друга окружностей;

- признаки в виде трасс, расположенных в динамической части следов бойка;

- признаки в виде наслоений, данный тип признаков характерен для изображений, полученных на растровом электронном микроскопе;

- признаки в виде контуров или топографических неоднородностей с четко выделенными границами, данный тип признаков характерен для изображений, полученных на растровом электронном микроскопе;

- комбинированные типы (комбинации основных типов, обычно не более двух).

#### **Исследование следообразования на пластичной и упругой фольге.**

Были исследованы характерные шероховатости и неоднородности поверхности капсюлей различных патронов. Были проведены эксперименты имитирующих осечку, в качестве капсюля использовалась фольга толщиной 200 мкм, изготовленная из мягкой стали. По капсюлям и фольге наносились удары одним бойком с ярко выраженными особенностями микрорельефа. Получившиеся следы бойков сканировались с высоким разрешением с помощью автоматизированной баллистической идентификационной системы «POISC».

**Сохранение в следах бойка поверхностных неоднородностей капсюля, их дифференциация от признаков бойка.** Наибольший интерес представляют сведения, касающиеся отображения неоднородностей поверхности капсюля в следах бойка при полноценном выстреле. В исследовании отобраны охотничьи патроны 5.6×39 мм к нарезному оружию и 16-го калибра к гладкоствольному

оружию с кавернами и трассами на поверхности капсюлей. На рисунке представлены шероховатости поверхности капсюля до выстрела (слева) и в следе бойка после выстрела (справа) из длинноствольного нарезного оружия. Анализ представленных изображений показал, что при отстреле длинноствольного нарезного оружия сглаживание шероховатостей поверхности капсюля происходит интенсивно. Однако в отдельных случаях грубые неоднородности поверхности капсюля могут сохраниться в следе бойка.

**Понятие дескрипторов, дескрипторы инвариантные положению, повороту, масштабу.** Вычисление различных дескрипторов по изображениям, представленным в градациях серого, является достаточно сложной задачей. Поэтому проводилось преобразование исходных изображений в бинарные. В данной работе белым цветом обозначены признаки следа бойка, а чёрным – фон. Адаптивную бинаризацию изображений с выровненным освещением проводили методом Ниблэка.

**Перспективы применения традиционного корреляционного анализа и метода корреляционных ячеек для нахождения совпадающих следов бойков.** Для оценки эффективности применения метода корреляционных ячеек были проведены расчеты степени схожести совпадающих следов бойков с индивидуальными признаками в виде крупных пятен и с признаками в виде мелких пятен с достаточно резкими границами.

**Заключение.** В выпускной квалификационной работе проведенные исследования показали перспективность применения предложенного алгоритма сравнения изображений следов с индивидуальными признаками в виде пятен произвольной формы, основанного на последовательном применении метода потенциальных функций и нормированного скалярного произведения контуров. Эффективность сравнения не зависит от ориентации изображений. Предложенный метод может быть использован в качестве самостоятельного для проведения проверок по массиву цифровых изображений следов бойков, так и в качестве предварительного, например, для одного из корреляционных методов.



В работе показано, что метод гомоморфной обработки цифровых изображений позволяет сгладить неоднородность по яркости исходных изображений следов бойков.

Разработана классификация морфологических типов индивидуальных признаков.

Разработаны алгоритмы выделения признаков в виде крупных областей и в виде окружностей и последующей бинаризации изображений следов бойков.

Проведенные исследования показали следующее: ярко выраженные несовпадающие особенности в парных следах одного бойка могут предопределяться типом неоднородностей, располагающихся на поверхности капсюлей, что следует учитывать, как при сравнении следов в «ручном» режиме, так и при разработке алгоритма автоматического сравнения следов и критериев формирования приоритетного списка.

С использованием некоторых положений этого метода и с целью исключения влияния достаточно ярких неоднородностей поверхности капсюля не относящихся к следам патронного упора на результаты анализа, был разработан метод корреляционных ячеек.

Основные отличия предлагаемого метода от прототипа заключаются в следующем. Во-первых, все анализируемые изображения разбиваются на одну сеть ячеек и для каждой пары ячеек пригодных к корреляции, находится максимум коэффициента корреляции при различных сдвигах исследуемого изображения относительно начального положения. Во-вторых, из корреляционного анализа исключаются области, негативно влияющие на результаты расчетов. В-третьих, в предлагаемом методе корреляционных ячеек вводится дополнительный признак схожести следов в виде кластерного характера распределения максимумов коэффициентов корреляции парных ячеек на диаграмме сдвигов. В-четвертых, за счет дополнительного разбиения изображений на более мелкие ячейки и анализа автокорреляционной функции для каждой ячейки, из последующего исследования исключаются области, не содержащие яркостных неоднородностей.

Данная работа представляет интерес для экспертов-криминалистов, занимающихся идентификацией оружия, а так же для разработчиков программного обеспечения автоматизированных баллистических идентификационных комплексов.