

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

Кафедра материаловедения, технологии  
и управления качеством

**ОТОБРАЖЕНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КАПСЮЛЕЙ  
В СЛЕДАХ ОРУЖИЯ НА СТРЕЛЯНЫХ ГИЛЬЗАХ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

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

Нестеренко Валерии Андреевны

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

Саратов 2019

**Введение.** При расследовании преступлений, связанных с применением огнестрельного оружия, проводится идентификация оружия по следам на выстреленных пулях и стреляных гильзах. В данной работе исследуются негативные факторы идентификации оружия по следам на гильзах, обусловленные присутствием различных видов неоднородностей на поверхности капсюлей.

Вариативность следов патронного упора является основным негативным фактором, резко усложняющим идентификацию оружия по данному типу следов. Во многих работах отмечается, что вариативность обусловлена индивидуальностью каждого выстрела, различием упруго-пластических свойств материала капсюля, люфтом ударника и т.д. Однако этими причинами трудно объяснить появление ярко выраженных различающихся признаков в совпадающих следах бойка и патронного упора [1].

Одним из основных факторов, оказывающим существенное влияние на вариативность следов, является присутствие на поверхности капсюля различных неоднородностей и объемных маркировок. Исследование влияния данного фактора на отображение в следах особенностей микрорельефа поверхности следов является актуальной задачей как для понимания причин расхождения признаков в совпадающих следах, так и для последующего совершенствования программного обеспечения автоматизированных баллистических идентификационных систем.

Основным методом автоматического сравнения следов является корреляционный анализ, который позволяет получить на практике представление о некоторых свойствах сравниваемых изображений, например, о последовательности чередования трасс (светлых и темных участков) в сравниваемых динамических следах, положений на изображении отдельных деталей интереса и т.д. Смысл корреляционного анализа состоит в количественном измерении степени сходства сравниваемых изображений, например, различных следов или сцен с помощью корреляционные функций.

Одним из таких методов является метод корреляционных ячеек, разработанный Джоном Сонгом (Национальный институт стандартов и технологий (NIST) США) [2]. Проблема сравнения следов на донных частях гильз также рассматривалась в работе Теодора В. Ворбургера [3].

Цели выпускной квалификационной работы:

- анализ негативного влияния основных типов неоднородностей и объемных маркировок, характерных для поверхности капсюля, на сравнение следов патронного упора;
- определение отображения различного рода неоднородностей поверхности капсюля в следах патронного упора и бойка.
- определение методов повышения эффективности корреляционного анализа изображений следов патронного упора при наличии объемной маркировки и различных неоднородностей на поверхности капсюлей, не связанных с огнестрельным оружием.

На основе поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- обзор научно-технической литературы;
- анализ основных типов неоднородностей, характерных для поверхности капсюля и их классификация;
- исследование устойчивости отображения поверхностных неоднородностей капсюля в следах оружия;
- исследование отображения объемной маркировки, нанесенной на поверхности капсюлей, в следах бойка и патронного упора;
- проведение корреляционного анализа изображений следов патронного упора без предварительной обработки;
- проведение корреляционного анализа изображений следов патронного упора с предварительной обработкой;
- проведение корреляционного анализа изображений следов патронного упора методом разбиения на корреляционные ячейки.

Дипломная работа занимает 65 страниц, имеет 43 рисунка и 10 таблиц.

Обзор составлен по 20 информационным источникам.

Во введение 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 гильза, периоды выстрела.

Вторая глава представляет собой описание неоднородностей поверхности капсюлей и их отображение в следах оружия. Она включает в себя такие подразделы, как типы и виды шероховатостей на поверхности капсюлей, исследование устойчивости отображения поверхностных неоднородностей капсюля в следах оружия.

В третьей главе представлено исследование отображения объемной маркировки, нанесенной на поверхности капсюлей, в следах бойка и патронного упора. Глава состоит из следующих подразделов: объемные маркировки на поверхности капсюлей, сканирование объёмных копий (клонов) дна стреляных гильз и их анализ, статистическая обработка параметров объемной маркировки, алгоритм реконструкции объемной маркировки на изображении.

В четвертой главе представлено применение корреляционного анализа для оценки степени схожести следов патронного упора. Глава включает в себя следующие подразделы: основы корреляционного анализа изображений, представленных в градациях серого, корреляционный анализ, корреляция изображений следов патронного упора без предварительной обработки, корреляция изображений следов патронного упора с заливкой непригодных областей черным цветом, корреляция изображений следов патронного упора с удалением непригодных областей из процесса расчета коэффициента, метод корреляционных ячеек, корреляция изображений следов патронного упора методом разбиения на корреляционные ячейки.

## **Основное содержание работы**

**Формирование следов оружия на поверхности гильзы.** 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 [4].

**Неоднородности поверхности капсюлей и их отображение в следах оружия.** Сравнение следов патронного упора проводится методами корреляционного анализа. Однако результаты корреляционного анализа будут зависеть не только от выраженности самих следов, но и от присутствия различного рода неоднородностей на поверхности капсюля, не связанных с огнестрельным оружием. Поэтому в данной работе изучены различные виды неоднородностей, присутствующие на поверхности капсюля и не связанные с огнестрельным оружием с целью последующего их исключения из корреляционного анализа [5].

**Типы и виды шероховатостей на поверхности капсюлей.** Неоднородности поверхности капсюлей можно разбить на следующие основные типы (без учета маркировок на поверхности капсюлей): трассы от прокатки фольги колпачка капсюля; борозды и вмятины с максимальной длиной до 200-300 мкм; многочисленные относительно мелкие шероховатости; каверны неопределенной формы (обычно в виде темных пятен) с линейными размерами в среднем от 50 до 150 мкм; пятна окисления неопределенной формы [6].

**Исследование устойчивости отображения поверхностных неоднородностей капсюля в следах оружия.** Отображения неоднородностей в следах бойка и патронного упора были изучены при отсутствии противодействия пороховых газов (осечка), а также при наличии противодействия (полноценный выстрел) [6].

**Исследование отображения объемной маркировки, нанесенной на поверхности капсюлей, в следах бойка и патронного упора.** При

исследовании объемной маркировки было выявлено ее негативное влияние на качество идентификации оружия по следам бойка и по следам патронного упора [7]. Также было выявлено, что объемная маркировка может негативно сказаться на результате корреляционного анализа сравниваемых следов при автоматическом режиме идентификации оружия [8].

**Сканирование объёмных копий (клонов) дна стреляных гильз и их анализ.** Была предпринята попытка получения объемных копий донных частей гильз для их дальнейшего сравнения. Копии (клоны) донных частей гильз склеивались с оправками и сканировались на АБИС «POISC» [9].

**Статистическая обработка параметров объемной маркировки.** В ходе проведения статистической обработки были измерены все параметры маркировки для отобранных гильз, рассчитано среднеквадратичное отклонение для каждого параметра для определения разброса измерений, а также рассчитано стандартное отклонение от среднего по полученным разбросам измерений ( ) для каждого параметра [10].

**Алгоритм реконструкции объемной маркировки на изображении.** Для каждой размерной характеристики был составлен алгоритм для восстановления (реконструкции) объемной маркировки после удара по ней бойка [11].

**Применение корреляционного анализа для оценки степени схожести следов патронного упора.** Одной из количественных мер оценки совпадения следов патронного упора на капсуле стрелянной гильзы является коэффициент корреляции [12].

В работе были протестированы 4 варианта корреляции, для выявления более эффективного из них [13]:

1. Нахождение коэффициента корреляции изображений без предварительной обработки.
2. Нахождение коэффициента корреляции изображений с заливкой непригодных областей черным цветом.

3. Нахождение коэффициента корреляции изображений с удалением непригодных областей из процесса расчета коэффициента.

4. Нахождение коэффициента корреляции изображений методом разбиения на корреляционные ячейки.

**Корреляция изображений следов патронного упора без предварительной обработки.** Корреляционный анализ проводился по следующему алгоритму:

1. Предварительно перед сканированием исследуемые гильзы ориентировались одинаковым образом. Для этого использовались след зацепа выбрасывателя, след отражателя или форма следа бойка.

2. Вырезались два одинаковых по размеру квадратных изображения (простейший случай) капсюля и визуально выравнивались относительно друг друга (подбирался угол и сдвиг).

3. Проводился расчет коэффициентов корреляции изображений между собой при разных углах ориентации изображений [13].

**Корреляция изображений следов патронного упора с заливкой непригодных областей черным цветом.** Корреляционный анализ проводился по следующему алгоритму [13]:

1. Предварительно перед сканированием исследуемые гильзы ориентировались одинаковым образом. Для этого использовались след зацепа выбрасывателя, след отражателя или форма следа бойка.

2. Вырезались два одинаковых по размеру квадратных изображения (простейший случай) капсюля и визуально максимально выравнивались относительно друг друга (подбирался угол и сдвиг).

3. Черным цветом заливались все непригодные области (след бойка, все что вне капсюля и области без следов).

4. Проводился расчет коэффициентов корреляции изображений между собой при разных углах ориентации изображений.

**Корреляция изображений следов патронного упора с удалением непригодных областей из процесса расчета коэффициента.** Корреляционный анализ проводился по следующему алгоритму:

1. Предварительно перед сканированием исследуемые гильзы ориентировались одинаковым образом. Для этого использовались след зацепа выбрасывателя, след отражателя или форма следа бойка.

2. Вырезались два одинаковых по размеру квадратных изображения (простейший случай) капсюля и визуально максимально выравнивались относительно друг друга (подбирался угол и сдвиг).

3. Черным цветом заливались все непригодные области (след бойка, все что вне капсюля и области без следов).

4. Второе изображение было дополнено по бокам полосами черных пикселей шириной в 10% от размеров 1-го изображения.

5. Первое изображение помещалось на второе в левый верхний угол. В этом положении подсчитывался коэффициент корреляции для пересекающихся областей, т.е. для областей не являющихся черными на одном и на другом изображении.

6. Далее первое изображение смещалось на 1 пиксель по второму по всей его площади и в каждом положении подсчитывался коэффициент корреляции.

7. В итоге, в полученной матрице коэффициентов корреляции определялся максимум [14].

**Корреляция изображений следов патронного упора методом разбиения на корреляционные ячейки.**

Корреляционный анализ изображений следов патронного упора методом разбиения на корреляционные ячейки был проведен с помощью адаптированного метода Дж. Сонга [2]:

1. Предварительно перед сканированием исследуемые гильзы ориентировались одинаковым образом [15]. Для этого использовались след зацепа выбрасывателя, след отражателя или форма следа бойка [16].



2. Вырезались два одинаковых по размеру квадратных изображения (простейший случай) капсуля и визуально максимально выравнивались относительно друг друга (подбирался угол и сдвиг).

3. Черным цветом заливались все непригодные области (боек, все что вне капсуля и области без следов).

4. Первое изображения разбивалось на ячейки. Оптимальным количеством, как было установлено опытным путем, будет сетка  $10 \times 10$  ячеек. Если изображение не делится нацело на 10 ячеек, то необходимо равномерно дополнить его по бокам черными пикселями до нужного размера [2].

5. Находились непригодные ячейки, то есть ячейки, в которых количество черных пикселей занимает больше  $1/2$  всей ячейки. Затем эти ячейки зачернялись.

6. Полученная сетка накладывалась на второе изображение. При этом, для получения максимального коэффициента корреляции второе изображение будет сдвигаться под сеткой в пределах 10% от размера первого изображения.

7. Дополненное 2-ое изображение двигалось под сеткой [17]. При каждом сдвиге попавший под сетку участок изображения анализировался на наличие непригодных ячеек, в которых количество черных пикселей занимает больше  $1/2$  всей ячейки. Если таковые были – они заливались черным цветом.

8. Каждая ячейка первого изображения коррелировала с соответствующей ей ячейкой второго изображения. Коэффициент корреляции фиксировался при каждом сдвиге.

9. В результате, для каждой ячейки выводилась матрица коэффициентов корреляции, из которой определялся максимальный коэффициент корреляции для этой ячейки и сдвиг, при котором этот максимум был достигнут [17].

10. Ячейки, максимумы корреляции которых меньше заранее заданного значения, обнулялись.

11. Затем изображения коррелировались в положении наилучшей корреляции, которое определялось сдвигом или скоплением сдвигов (кластер), при котором наибольшее количество ячеек дает максимум корреляции [2].

Были получены гистограммы для парных (Рисунок 1) и непарных (Рисунок 2) следов.

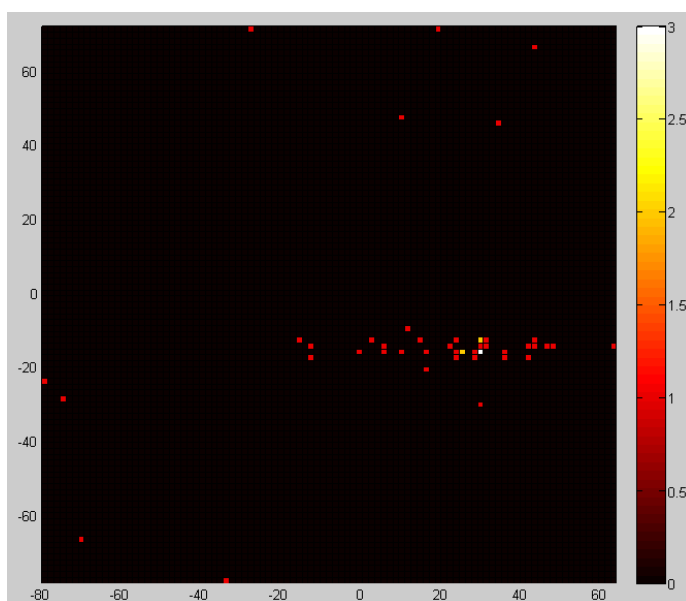


Рисунок 1 – График распределения сдвигов для парных следов

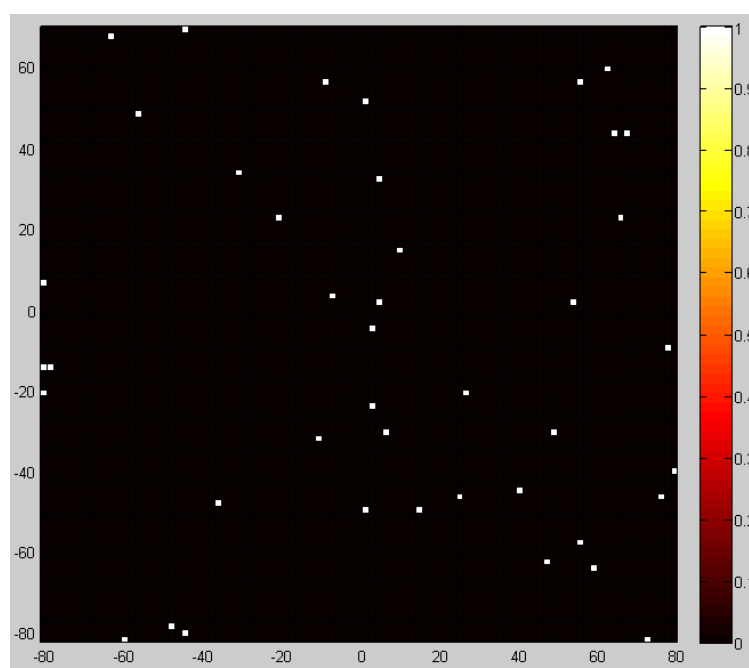


Рисунок 2 – График распределения сдвигов для непарных следов

Были выявлены следующие преимущества корреляции изображений следов патронного упора методом разбиения на корреляционные ячейки:

1) Метод разбиения на корреляционные ячейки позволяет максимально исключить непригодные области из расчета коэффициента корреляции, за счет чего корреляция в пригодных областях возрастает.

2) Метод разбиения на корреляционные ячейки позволяет более корректно определить парность изображений следов патронного упора по наличию кластера, т.е. скопления положений сдвигов, при которых наблюдаются максимумы, и коэффициента корреляции в совокупности.

**Заключение.** В выпускной квалификационной работе были проанализированы и классифицированы основные неоднородности поверхности капсюлей, их отображение в следах оружия. Проведено экспериментальное исследование устойчивости отображения поверхностных неоднородностей капсюля в следах оружия.

Проведено исследование отображения объемной маркировки, нанесенной на поверхности капсюлей, в следах бойка и патронного упора.

В ходе работы была предпринята попытка получения объемных копий донных частей гильз для их дальнейшего сравнения. Эксперимент показал, что материал, из которого были изготовлены копии (клоны) донных частей гильз, не годится для решения поставленной задачи на АБИС «POISC» из-за черного цвета и упруго-эластичных характеристик.

Проведена статистическая обработка размерных характеристик объемной маркировки для исключения ее областей из коррелируемых изображений и разработка алгоритма реконструкции объемной маркировки на дне гильзы после удара бойка.

Проведен корреляционный анализ изображений следов патронного упора без предварительной обработки для оценки степени схожести этих следов. Анализ показал, что при таком расчете коэффициента корреляции учитываются области, не содержащие следов патронного упора, например, след бойка, что негативно сказывается на результатах расчетов. В результате максимум корреляции не соответствует ориентации изображений, при которой наблюдается максимальная схожесть следов патронного упора.

Проведен корреляционный анализ изображений следов патронного упора с заливкой непригодных областей черным цветом. Анализ показал, что коэффициент корреляции повысился относительно коэффициентов полученных при корреляции изображений без заливки непригодных областей. Однако повышение коэффициента корреляции обусловлено в первую очередь, со схожими границами областей, залитых черным цветом, которые хорошо коррелируют между собой и тем самым повышают коэффициент корреляции. В данном случае, повышение коэффициента корреляции не связано со схожестью следов патронного упора.

Проведен анализ изображений следов патронного упора с удалением непригодных областей из процесса расчета коэффициента корреляции. Анализ показал, что коэффициент корреляции стал значительно меньше. Это объясняется тем, что из процесса расчета коэффициента изображений были удалены непригодные области с хорошо совпадающими границами. За счет этого основной вклад в значение коэффициента корреляции вносят следы патронного упора. Показано, что при повороте одного изображения относительно другого коэффициент корреляции значительно уменьшается. Это связано с уменьшением областей пересечения совпадающих следов патронного упора.

Проведен корреляционный анализ изображений следов патронного упора методом разбиения на корреляционные ячейки, основанный на адаптированном методе Дж. Сонга [2]. Расчеты показали, что данный метод, позволяет максимально исключить непригодные области из анализа, за счет чего коэффициент корреляции в пригодных областях возрастает. Также положительным эффектом данного метода, в отличие от метода Дж. Сонга, является формирование кластера (скопления положений сдвигов, при которых наблюдаются максимумы коэффициента корреляции по ячейкам), как дополнительного признака парности следов.

Рассмотренные в магистерской работе методы расчета позволили определить наиболее эффективный из них, а именно метод деления на корреляционные ячейки.

Проведенные исследования показали перспективность проведения дополнительных исследований по определению критериев отнесения исследуемых следов патронного упора к парным методом корреляционных ячеек. Кроме этого, данный метод корреляции может быть применен для сравнительного анализа следов бойков.

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

#### **Список использованных источников**

1 Стальмахов, А. В. Судебная баллистика и судебно-баллистическая экспертиза / А. В. Стальмахов, А. М. Сумарока. – Саратов : СЮИ МВД России, 1998. - 176 с.

2 Song, J. “NIST Ballistics Identification System (NBIS)” Based on 3D Topographic Measurements on Correlation Cells / J. Song // AFTE Journal. - 2013. - Т. 45, № 2. - С. 184–194.

3 Vorburger, T. V. Surface Topography Analysis for a Feasibility Assessment of a National Ballistics Imaging Database / T. V. Vorburger, J. H. Yen // NIST Inter-agency. - 2007. - С. 173.

4 Идентификационные признаки и их классификация [Электронный ресурс] // Studme.org [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: <https://studme.org/> (дата обращения: 4.05.2019). - Загл. с экрана. - Яз. рус.

5 Криминалистика [Электронный ресурс] // Studme.org [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: <https://studme.org/> (дата обращения: 17.06.2018). - Загл. с экрана. - Яз. рус.

6 Федоренко В. А. Влияние неоднородностей поверхности капсулей на вариативность статических следов бойков / В. А. Федоренко, С. Н. Гвоздков, Е.

Е. Грабовец // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Серия Экономика. Управление. Право. - 2018. - Т. 18, № 2. - С. 202–207.

7 Федоренко В. А. Методика оценки уникальности комплексов трасс, совмещенных во вторичных следах / В. А. Федоренко, Е. В. Сидак, О. А. Мыльцина // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Серия Экономика. Управление. Право. - 2018. - Т. 18, № 2. - С. 217–221.

8 Гвоздкова Л. С. Возможности криминалистического исследования следов на стреляных гильзах при их многократном использовании (на примере охотничьих патронов калибров .300 WIN MAG, .338 LM и 5,6×39) / Л. С. Гвоздкова // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Серия Экономика. Управление. Право. - 2018. - Т. 18, № 2. - С. 213–216.

9 Белкина, Р. С. Криминалистика: учебник для вузов / Р. С. Белкина ; под ред. Р. С. Белкина. - М. : НОРМА, 2001. – 990 с.

10 Статистическая обработка результатов измерения [Электронный ресурс] // StudFiles [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: <https://studfiles.net/> (дата обращения: 25.04.2019). - Загл. с экрана. - Яз.рус.

11 Статистический анализ и обработка результатов эксперимента [Электронный ресурс] // StudRef [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: <https://studref.com/> (дата обращения: 4.05.2019). - Загл. с экрана. - Яз. рус.

12 Аванесов, В. Г. Проблемы идентификации огнестрельного оружия / В. Г. Аванесов // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Серия Экономика. Управление. Право. - 2012. - Т. 12, № 3. - С. 65-66.

13 Харченко, М. А. Корреляционный анализ : учебное пособие для вузов / М. А. Харченко ; под общ. ред. Л. М. Носилова. - Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. - 30 с.

14 Распознавание объектов на основе вычисления коэффициента корреляции [Электронный ресурс] // MATLAB.Exponenta [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: <http://matlab.exponenta.ru/> (дата обращения: 10.05.2019). - Загл. с экрана. - Яз.рус.

15 Chu, W. Pilot study of automated bullet signature identification based on topography measurements and correlations / W. Chu, J. Song, T. Vorburger, J. Yen // Journal of Forensic Sciences. - 2010. - Т. 55, № 2. - С. 341–347.

16 Об утверждении Криминалистических требований Министерства внутренних дел Российской Федерации к техническим характеристикам гражданского и служебного оружия, а также патронов к нему [Электронный ресурс] // Гарант.ру [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: <https://www.garant.ru/products/> (дата обращения: 13.04.2019). - Загл. с экрана. - Яз.рус.

17 Ревинская, О. Г. Основы программирования в MatLab : учебное пособие / О. Г. Ревинская. – СПб. : БХВ-Петербург, 2016. - 208 с.