

Анализ мишени с помощью компьютерного зрения

И.Г. Пальчикова^{1,2}, И.В. Латышов³, Е.С. Смирнов¹, А.В. Кондаков⁴, В.А. Васильев⁴

¹Конструкторско-технологический институт научного приборостроения Сибирского отделения РАН, Русская 41, Новосибирск, Россия, 630058

²Новосибирский государственный университет, Пирогова 1, Новосибирск, Россия, 630090

³Санкт-Петербургский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации, Летчика Пилотова 1, Санкт-Петербург, Россия, 198206

⁴Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации, Историческая 130, Волгоград, Россия, 400089

Аннотация. Для развития технологий и методов криминалистических исследований обстоятельств происшествий необходимы исследование следов выстрелов и моделирование распространения газопороховой струи. В данной работе обоснована возможность определения расстояния выстрела методами компьютерного зрения по функции распределения оптической плотности на цифровой фотографии мишени со следами копоти выстрела. Разработана методика математической обработки цифровых фотографий мишеней, дано теоретико-математическое обоснование и экспериментальное подтверждение возможности оценки количества копоти выстрела и ее распределения на мишени с помощью ее цифровой фотографии. Показано, что усредненная по области выделения на изображении мишени интегральная оптическая плотность характеризует массу вещества копоти. Экспериментом подтверждается обоснованность и справедливость предлагаемого подхода, доказана возможность выявления закономерностей распределения продуктов выстрела на поверхности мишени в зависимости от дистанции выстрела.

1. Введение

Обработка цифровых изображений [1] объектов с целью нахождения их морфометрических характеристик широко используется в различных областях [2], например, при изучении геологических образований, при определении формы, структуры, размеров отдельных клеток биологических тканей, органов в медицинской диагностике и т.д. Актуальным является так же применение методов компьютерного зрения в задачах экспертных исследований следов выстрела [3], среди которых: выявление и фиксация следов выстрела на предметах; анализ характеристик основного и дополнительных следов выстрела, включая измерения следов, расчеты параметров морфологии, топографии их отложения; использование полученных результатов в определении направления и расстояния (дистанции) выстрела. Одна из характеристик, которая определяется обычно лишь путем разрушения мишени [4], – это определение количества копоти выстрела на мишени.

Вместе с тем в оптической спектроскопии существуют и широко применяются методы количественного анализа дисперсных сред. Определение количественного содержания компонента [5, 6] по фотографии в задачах фотометрии основывается на хорошо известном

законе Бугера-Ламберта-Бэра. При определенных условиях во многих процессах рассеяния света справедливы соотношения и законы, подобные закону Бугера-Ламберта-Бэра. Рассеяние света разбавленными суспензиями [7] и молекулами [8], рассеяние электронных пучков [9] в газовых средах происходят согласно экспоненциальному ослаблению с толщиной слоя и концентрацией рассеивателей.

В настоящей работе путем использования перечисленных подходов [10] обосновывается теоретически и подтверждается экспериментом возможность оценки количества копоти выстрела и ее распределения на мишени с помощью ее цифровой фотографии.

2. Математическое описание

Для математического описания задачи будем исходить из следующей модели явления при ограничениях, определенных ниже.

В случае выстрела все составляющие газопороховой струи летят в виде объемного облака. В зоне приоритетного отложения копоти выстрела [11] на преграде (мишени), расположенной нормально к стволу, происходит последовательное осаждение вещества облака.

Пусть выполняются следующие условия:

– Газопороховая струя имеет ограниченный объем, т.е. за время выстрела истекает в виде струи ограниченный объем вещества. На преграде (мишени) осаждаются все вещество, которое не испытало рассеяния и не выпало из струи до столкновения с мишенью. Толщина h слоя копоти на поверхности зависит от местоположения (координаты) на мишени и вещество копоти однородно. Тогда масса m вещества на площади σ поверхности прямо пропорциональна произведению σh .

– При освещении мишени видимым светом происходит отражение, пропускание и поглощение света. Выполняется соотношение $R + A + T = const$, где R – коэффициент отражения по интенсивности, A – коэффициент поглощения по интенсивности, T – коэффициент пропускания по интенсивности. Без потери общности можно считать, что $const = 1$. Следует заметить, что R и T зависят и от материала мишени.

– Мишень представляет собой однородный однотонный материал, по поверхности которого коэффициенты отражения и пропускания по интенсивности не изменяются в отсутствии копоти.

– Локальный коэффициент поглощения A прямо пропорционален толщине копоти, а значит – и количеству вещества на элементарной площадке.

– Суммарная площадь областей, где толщина копоти превосходит ту, при которой поглощается все падающее излучение, достаточно мала.

Если выполняются три последних условия, то увеличение толщины h_i слоя копоти приводит к пропорциональному уменьшению коэффициентов R и T , а значит – величины этих коэффициентов зависят от количества вещества, выпавшего на площадку.

Цифровая фотография фиксирует именно распределение R или T по поверхности мишени в зависимости от способа фотосъемки (фотосъемка «в отраженном свете» или «в проходящем свете») при диффузном отражении. При корректном подборе настроек камеры будет использоваться весь (полный) динамический диапазон и съемка будет выполняться на линейном участке передаточной функции фотоматрицы. При фотосъемке «в проходящем свете» локальная яркость I_i в каждом пикселе цифрового изображения будет прямо пропорциональна T_i и зависит от толщины h_i слоя копоти на соответствующем участке поверхности мишени. Яркость измеряется в уровнях серого, максимальное значение этой величины зависит от дигитализации камеры. (256 уровней, если дигитализация – 8 бит на канал).

Изменение яркости в зависимости от толщины слоя копоти можно записать как

$$dI_i = -I_i \beta dh_i, \quad (1)$$

где dI_i – изменение исходной яркости I_i , dh_i – толщина слоя, β – некий коэффициент пропорциональности, который характеризует свойства материала мишени, пороха и его

адгезию к мишени, и должен зависеть от длины световой волны. Решение этого дифференциального уравнения является тривиальным:

$$I_i = I_0 e^{-\beta h_i}, \quad (2)$$

где I_0 – яркость (среднее значение) на фотографии в местах отсутствия копоти. Коэффициент β не зависит от I_i и от толщины h_i слоя. Он может быть определен как толщина слоя, после отражения света от которого, яркость на фотографии ослабляется в e раз.

Тогда оптическая плотность в каждом пикселе изображения

$$D_i = -\ln \frac{I_i}{I_0} = \beta h_i. \quad (3)$$

Таким образом, оптическая плотность на цифровом изображении прямо пропорциональна толщине h_i слоя копоти на соответствующем участке мишени (или в каждом пикселе выделенной области).

Интегральная яркость по области выделения находится суммированием по площади выделения S левой и правой частей равенства (2):

$$\sum_{\%} I_i = I_0 \left\{ \sum e^{-\beta h_i} \right\} = I_0 e^{-\beta h_{\max}} \left\{ 1 + e^{-\beta \frac{h_1}{h_{\max}}} + e^{-\beta \frac{h_2}{h_{\max}}} + \dots + e^{-\beta \frac{h_i}{h_{\max}}} + \dots + e^{-\beta \frac{h_N}{h_{\max}}} \right\}. \quad (4)$$

Величина h изменяется по поверхности мишени. В уравнении (3) h_{\max} – наибольшая толщина, и каждое из слагаемых $e^{-\beta \frac{h_i}{h_{\max}}} < 1$. Тогда сумму ряда можно оценить сверху, и она будет меньше, чем количество пикселей на площади выделения – N .

$$1 + e^{-\beta \frac{h_1}{h_{\max}}} + e^{-\beta \frac{h_2}{h_{\max}}} + \dots + e^{-\beta \frac{h_i}{h_{\max}}} + \dots + e^{-\beta \frac{h_N}{h_{\max}}} \leq N. \quad (5)$$

В этих условиях всегда найдется эффективная толщина $h_{\text{эф}}$, при которой выполняется равенство:

$$I_0 e^{-\beta h_{\max}} \left\{ 1 + e^{-\beta \frac{h_1}{h_{\max}}} + e^{-\beta \frac{h_2}{h_{\max}}} + \dots + e^{-\beta \frac{h_i}{h_{\max}}} \right\} = I_0 e^{-\beta h_{\text{эф}}} N \quad (6)$$

Объединяя (4) и (6), находим

$$\sum_{\%} I_i = \sum_1^N I_i = I_0 e^{-\beta h_{\text{эф}}} N \quad (7)$$

В результате, логарифмируя равенство (7), получаем:

$$\ln \frac{I_0 N}{\sum_1^N I_i} = \beta h_{\text{эф}}. \quad (8)$$

Произведение $\sigma N h_{\text{эф}}$, прямо пропорционально массе m вещества копоти на выделенной области, где σ – площадь одного пикселя.

$$m = \sigma N h_{\text{эф}} = N \cdot \ln \frac{I_0 N}{\sum_1^N I_i} \cdot \frac{\sigma}{\beta}. \quad (9)$$

Таким образом, усредненная по поверхности выделения на изображении мишени интегральная оптическая плотность $D_{\Sigma} = \ln \frac{\sum_i I_i}{I_0 N} \cdot \frac{\sigma}{\beta}$ характеризует массу вещества копоти на выделенной области:

$$m = -N D_{\Sigma} \frac{\sigma}{\beta}. \quad (10)$$

Предлагаемый подход и проведенное рассмотрение позволяют выявить и экспериментально определить распределение вещества в поперечном сечении газопороховой струи путем выполнения расчетов по цифровому изображению мишени.

3. Порядок выполнения расчетов

Методы расчета оптической плотности по выделенной области цифрового изображения хорошо известны, широко применяются, например, в биологических экспериментах [12] и могут быть выполнены с помощью различных программ и сред программирования: *Microsoft Office Excel*, *PTC Mathcad*, *Matlab*, *ImageJ* [13] и т.д.

Порядок выполнения расчетов по цифровому изображению мишени для определения количества вещества копоти согласно (10) следующий:

– Величина I_0 вычисляется как среднее значение яркости на выделенной области изображения, в которой отсутствует копоть.

– Выделяются области интереса. Изображение мишени близко к центрально симметричному относительно пулевого отверстия. Поэтому в качестве областей интереса будем рассматривать круги, кольца с центром в середине пулевого отверстия и сектора. Выбирая области выделения в виде концентрических колец и секторов, можно экспериментально определить распределение вещества в поперечном сечении газопороховой струи.

– Выполняется расчет интегральной оптической плотности в областях интереса по формуле:

$$D_{\Sigma} = \ln \frac{\sum_i I_i \cdot \sigma}{I_0 \cdot N \cdot \beta}, \quad (11)$$

где i – номер пикселя, I_i – значение яркости в пикселе.

– Оценивается величина массы вещества копоти на выделенной области согласно (10).

– Строятся диаграммы распределения вещества копоти по поверхности мишени.

В расчетах остался неопределенным коэффициент $\frac{\beta}{\sigma}$. В случае необходимости площадь пикселя σ определяется произведением оптического увеличения при фотографировании и паспортного значения размера пикселя для фотоматрицы. А величину β можно определить опытным путем. То есть на практике величину массы в граммах можно определить, если предварительно выполнить абсолютную градуировку метода (построить градуировочные зависимости), используя результаты независимой методики нахождения массы $m_{град}$ вещества копоти на стандартных мишенях.

4. Экспериментальные результаты

Для получения в эксперименте следов выстрела были использованы в качестве мишеней различные материалы белого цвета: бязь, кашемир. Размер мишеней – 300×300 мм. Стрельба велась с близких дистанций – 3, 5, 20 и 30 см. Ниже приведены результаты расчетов для мишени из бязи белого цвета, стрельба велась из пистолета ТТ с дистанции 5 см.

Фотосъемка мишени со следами выстрела осуществлялась «в проходящем свете» со светодиодным осветителем *LMPRS.Office Slim 15 315* (ООО «Завод Лампирикс», Россия) на камеру *Canon EOS 500D (Canon Inc., Japan)*. Камера *Canon EOS 500D* допускает режим пользовательских настроек, в котором исключены предобработки изображения встроенным процессором самой камеры, а пользовательская установка баланса белого позволяет избежать автоматической коррекции соотношений цветовых каналов. В этом режиме задано: ручной баланс белого, отсутствие сдвига баланса, отсутствие брекетинга, стиль изображения «Точное», светочувствительность *ISO 100*, расширение диапазона *ISO* отключено, шумоподавление при длительной выдержке и высоких *ISO* отключено, приоритет цветов запрещен, автокоррекция яркости запрещена. Изображение образца регистрировалось в режиме пользовательских настроек камеры в формате *RAW* 14-бит, который затем конвертировался в формат *TIFF* 16 бит. Зарегистрированные изображения образцов попиксельно нормировались на соответствующие

изображения белого фонового листа, съёмка которого осуществлялась камерами предварительно. Такая нормировка позволила исключить виньетирование и возможные неравномерности освещения поля.

По нормированным изображениям и производились все вычисления в программе *Microsoft Office Excel*. Для устранения влияния шума (текстуры ткани мишени) выполнялась предобработка цифрового изображения мишени фильтром размытия [1] по функции нормального распределения Гаусса, основанном на матрице свёртки, радиусом 5 пикселей. Простейший прямоугольный сглаживающий фильтр радиуса r задается при помощи матрицы размера $(2r+1) \times (2r+1)$, все значения которой равны $(2r+1)^{-2}$, а сумма по всем элементам матрицы равна единице.

Для выделения областей интереса задавалась координата центра мишени в середине пулевого отверстия, и задавались значения радиусов концентрических колец, внутри которых рассчитывалась оптическая плотность по формуле (11).

На рис.1а дана фотография мишени. Рис. 1б демонстрирует выделение областей на фотографии мишени в виде колец. График зависимости интегральной оптической плотности D_{Σ} в кольцах от их внешних радиусов (рис. 1в, пунктирная линия) отражает распределение копоти (толщины слоя) по поверхности мишени в зависимости от удаления от отверстия. Зависимость разницы (радиальный градиент) оптических плотностей в соседних кольцах от радиусов показана сплошной линией на рис. 1в. Зависимость интегральной оптической плотности в круге от его радиуса R дана на рис. 1г.

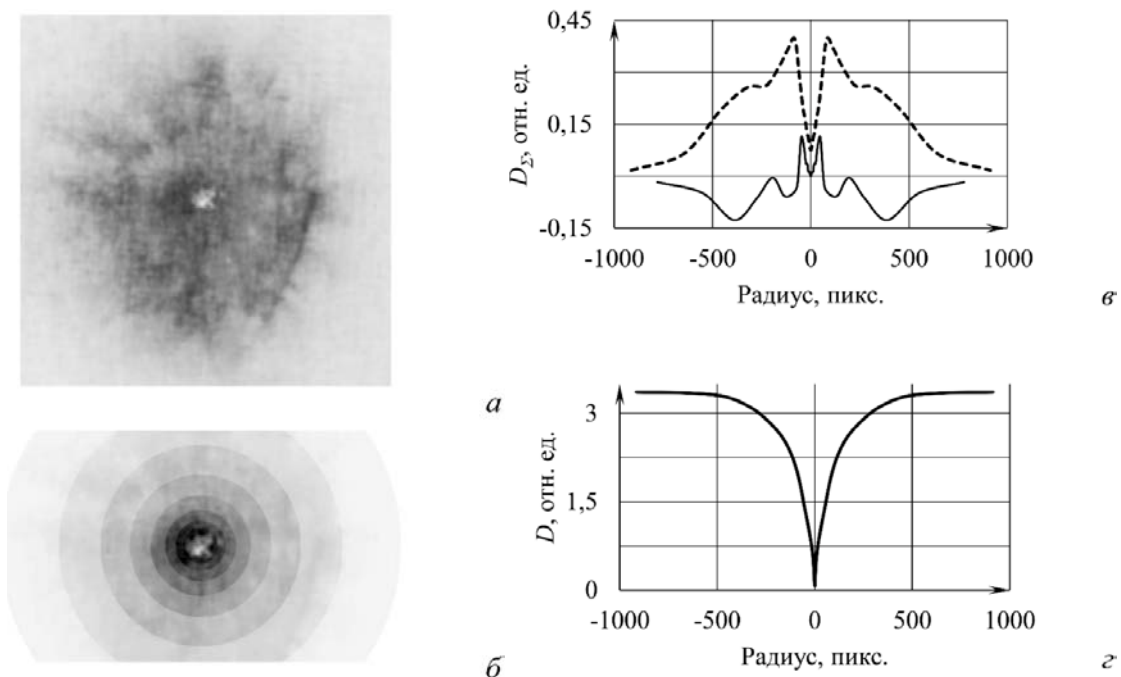


Рисунок 1. Экспериментальные результаты. *а* – монохромная фотография мишени в проходящем свете; *б* – визуализация концентрических колец с удваивающейся площадью, выделенных на изображении мишени; *в* – пунктирная линия – график зависимости интегральной оптической плотности в кольце D_{Σ} от его внешнего радиуса R ; сплошная линия – график зависимости приращения оптической плотности D_{Σ} от внешнего радиуса кольца выделения R ; *г* – сплошная линия – график зависимости интегральной оптической плотности в круге от его радиуса R .

Анализ оптической плотности изображения в концентрических кольцах выявляет радиальную зависимость распределения вещества в поперечном сечении газопороховой струи.

Дополнительную информацию предоставляет анализ углового распределения толщины слоя копоти на мишени, который выполняется путем расчета интегральной оптической плотности в секторах кругового выделения на изображении мишени. Центр круга совпадает с указанным центром мишени, круг разбивается на сектора с задаваемым угловым размером. Радиус круга задается и может охватывать всю видимую область окопчения. Результаты расчетов интегральной оптической плотности в секторах различного углового размера приведены на рис. 2. При малых угловых размерах сектора выявляются эффекты муара в виде вертикальных всплесков на графике каждые 45° , связанные с геометрическим расположением пикселей на прямоугольной фотоматрице камеры. Усиления и ослабления оптической плотности вдоль радиусов проявляются в виде колебаний на графиках рис. 2, пики достигаются при одинаковых значениях угловых координат для всех используемых углов раствора сектора. На рис. 3 сплошной радиальной линией указано направление максимальной оптической плотности в секторе, расположенном вблизи угла 270° и пунктиром – направление минимальной оптической плотности. Угловое распределение толщины слоя копоти на мишени удобно представлять в виде индикатрисы рассеяния, как показано на рис. 3. На рис. 3 индикатриса наложена на фотографию мишени.

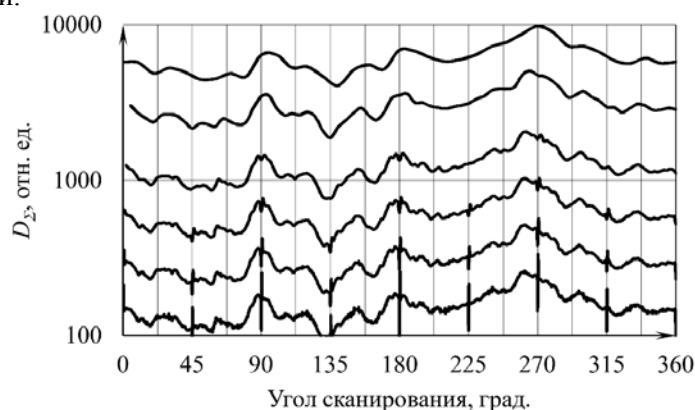


Рисунок 2. Угловое распределение интегральной оптической плотности D_{Σ} по поверхности мишени. Кривые соответствуют угловому размеру сектора (снизу вверх): 0,25; 0,5; 1; 2; 5 и 10° .

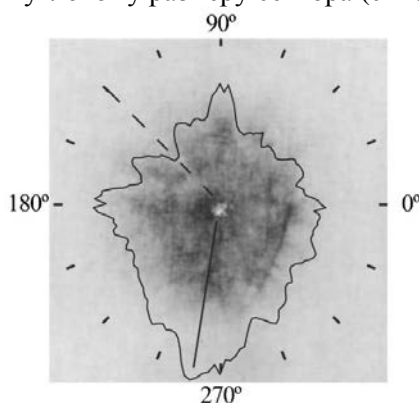


Рисунок 3. Угловое распределение интегральной оптической плотности на поверхности мишени в виде индикатрисы. Угловой размер каждого сектора выделения – 2° . Направление максимальной оптической плотности указано сплошной радиальной линией в секторе, расположенном вблизи угла 270° и направление минимальной оптической плотности - пунктир.

Анализ оптической плотности изображения в секторах кругового выделения выявляет угловую зависимость распределения вещества в поперечном сечении газопороховой струи.

5. Обсуждение и выводы

Предлагаемый подход и проведенное рассмотрение позволяют выявить и экспериментально определить распределение вещества в поперечном сечении газопороховой струи. Выбирая

области выделения на цифровой фотографии мишени в виде концентрических колец с центром в середине пулевого отверстия, кругах с возрастающими радиусами и круговых секторах и рассчитывая оптические плотности в них, можно найти как дифференциальное, так и интегральное распределение вещества в поперечном сечении газопороховой струи, которое связано с типом и видом огнестрельного оружия, а так же с обстоятельствами его применения. Полученные результаты подтверждают возможность построения интегральных и дифференциальных закономерностей распределения продуктов выстрела на поверхности мишеней из различных материалов. Дистанция выстрела, тип пороха и оружия будут непосредственно влиять на эти распределения. То есть по функции распределения копоти выстрела на мишени возможно определить расстояние выстрела [14].

Предлагаемый подход обоснован с использованием ряда приближений и ограничений. Все фотографии мишеней должны делаться в одинаковых условиях освещения, с помощью одной и той же фотокамеры и с одинаковыми настройками, которые не искажают цветопередачу, не выполняют коррекцию яркости и допускают количественную фотограмметрию.

Развиваемый подход применим к мишеням в случае близкого выстрела [15] в зоне приоритетного отложения копоти выстрела. В рассмотрении принималось, что газопороховая струя полностью перенесла копоть на поверхность мишени. В этом случае масса вещества, которое осаждается на мишени, не должна зависеть от расстояния l до дульного отверстия. При больших толщинах слоя окопчения коэффициент поглощения света не зависит от толщины и развиваемый подход не дает ожидаемых результатов. Критическую толщину можно определить только экспериментально.

Имеет значение так же тот факт, что в теоретическом рассмотрении коэффициент β не вполне определен. О характере величины β можно сказать лишь очень немногое. По-видимому, этот коэффициент зависит от типа пороха, от его показателя поглощения света, а также от концентрации металлических и масляных включений. Здесь нужны дополнительные опытные данные. Преодолеть эту неопределенность возможно путем градуировки метода.

Применительно к нашему случаю, это означает, что должна существовать другая, независимая методика нахождения массы $m_{град}$ вещества окопчения на мишени, с помощью которой и проводится градуировка следующим образом. Производится отстрел стандартных мишеней, расположенных на известных расстояниях ($l_1, l_2, l_3, l_4 \dots$) от дульного отверстия. Делаются цифровые фотографии мишеней. Независимой методикой находится количество массы на каждой мишени ($m_{град1}, m_{град2}, m_{град3}, m_{град4} \dots$). Выполняется расчет оптических плотностей ($D_{\Sigma 1}, D_{\Sigma 2}, D_{\Sigma 3}, D_{\Sigma 4} \dots$) и масс по фотографиям ($m_1, m_2, m_3, m_4 \dots$). Строятся градуировочные зависимости $m_{град}(m)$ для различных расстояний l . Если окопчения нет, то $m = 0$ и $m_{град} = 0$. То есть на графике зависимость $m_{град}(m)$ имеет вид прямой, которая проходит через начало координат и ненулевую точку (которая и была определена). Если есть возможность определить ненулевую точку для различных расстояний l , то наклон прямой позволит судить о расстоянии. Градуировочные прямые вероятно будут несколько отличными для различных видов оружия и порохов. Таким образом, фактически выполняется экспериментальное определение коэффициента $\frac{\beta}{\sigma}$.

После чего можно исследовать рабочую мишень и с помощью построенной градуировочной зависимости (найденных значений $\frac{\beta}{\sigma}$) определить массу вещества окопчения на ней в единицах системы СИ.

В результате проведенного исследования разработана методика математической обработки цифровых фотографий мишеней, дано теоретико-математическое обоснование и экспериментальное подтверждение возможности оценки количества копоти выстрела и ее распределения на мишени с помощью ее цифровой фотографии.

6. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 17-47-540269 и частично – проекта РФФИ №19-08-00874.

7. Литература

- [1] Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
- [2] Богданов, К.М. Оптико-структурный машинный анализ изображений / К.М. Богданов, К.А. Яновский, Ю.Г. Козлов – М: Машиностроение, 1984. – 280 с.
- [3] Латышов, И.В. Актуальные проблемы разработки современных технических средств для криминалистического исследования следов выстрела / И.В. Латышов, И.Г. Пальчикова, А.В. Кондаков, В.А. Васильев, Е.С. Смирнов // Судебная экспертиза. – 2017. – Т. 4, № 52. – С. 55-63.
- [4] Потапова, Л.Ф. Использование диффузионно-контактного метода в судебно-баллистической экспертизе / Л.Ф. Потапова – М.: ВНИИСЭ, 1987. – 16 с.
- [5] Шмидт, В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов / В. Шмидт – М.: Техносфера, 2007. – 368 с.
- [6] Агроскин, Л.С. Цитофотометрия. Аппаратура и методы анализа клеток по светопоглощению / Л.С. Агроскин, Г.В. Папаян – Л.: Наука, 1977. – 295 с.
- [7] Bohren, C.F. Multiple scattering of light and some of its observable consequences / C.F. Bohren // Am. J. Phys. – 1987. – Vol. 55. – P. 524-533.
- [8] Born, M. Atomic Physics / M. Born, R.J. Blin-Stoyle, J.M. Radcliffe – London: Blackie & Son, 1969. – 544 p.
- [9] Chpolski, E. Physique Atomique / E. Chpolski – Moscou: Mir, 1977. – Vol. 1. – 542 p.
- [10] Berberan-Santos, M.N. Beer's Law Revisited / M.N. Berberan-Santos // Journal of Chemical Education. – 1990. – Vol. 67(9). – P. 757-759.
- [11] Стальмахов, А.В. Судебная баллистика и судебно-баллистическая экспертиза: учебник / А.В. Стальмахов, А.М. Сумарока, А.Г. Егоров, А.Г. Сухарев – Саратов: СЮИ МВД России, 1998. – 176 с.
- [12] Ivankina, E.A. Cytophotometric determination of genome size in two species of Cyclops Lake Baikal (Crustacea: Copepoda: Cyclopoida) in ontogenetic development / E.A. Ivankina, A.L. Alexeyeva, V.F. Semeshin, L.V. Omelyanchuk, I.G. Palchikova // Cytology. – 2013. – Vol. 5(1). – P. 52-59.
- [13] Konyukhov, A.L. Guidelines on using «ImageJ» software complex for image processing: Textbook. Tomsk: board of technical control / A.L. Konyukhov – Tomsk University of control systems, 2012. – 105 p.
- [14] Дружинин, Г.М. Определение расстояния выстрела по функции распределения копоти выстрела на мишени / Г.М. Дружинин, А.М. Моисеев // Экспертная техника – М.: ВНИИСЭ, 1985. – № 97.
- [15] Ручкин, В.А. Криминалистическая экспертиза оружия и следов его применения: Учебник. Ч.1 / В.А. Ручкин – Волгоград: ВА МВД России, 2004. – 316 с.

Analysis of the shot target using computer vision

I.G. Palchikova^{1,2}, I.V. Latyshov³, E.S. Smirnov¹, A.V. Kondakov⁴, V.A. Vasiliev⁴

¹Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering of the Siberian Branch of the RAS, Russkaya str. 41, Novosibirsk, Russia, 630058

²Novosibirsk State University, Pirogova str. 1, Novosibirsk, Russia, 630090

³Saint Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russian Federation, Pilot Pilyutov str. 1, St. Petersburg, Russia, 198206

⁴Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Istoricheskaya str. 130, Volgograd, Russia, 400089

Abstract. The study of the traces of shots and simulate the spread of a gas-gunpowder jet is necessary for the development of methods and technologies forensic investigations of circumstances of incidents. The ability to determine the distance of the shot using computer vision methods according to the distribution function of optical density in a digital photograph of the target with traces of shots is substantiated in this article. The technique for the mathematical processing of digital photographs of targets is developed. Theoretical and mathematical justification and experimental confirmation of the possibility of estimating the amount of soot of a shot and its distribution on a target using its digital photography is given. The integrated optical density averaged over the selection area in the target image characterizes the mass of soot material is calculated and shown. The experiment confirms the validity and fairness of the proposed approach. The ability to identify patterns of distribution of shot products on the target surface depending on the distance of the shot is proved.