

## Возможности использования аппаратно-программного комплекса компьютерного зрения MS-Unit в исследовании объектов судебных экспертиз

 И.В. Латышов<sup>1</sup>,  В.А. Васильев<sup>2</sup>,  И.Г. Пальчикова<sup>3</sup>,  Е.С. Смирнов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГКОУ ВО «Санкт-Петербургский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации», Санкт-Петербург 198206, Россия

<sup>2</sup> Учебно-научный комплекс экспертно-криминалистической деятельности Волгоградской академии МВД России, Волгоград 400089, Россия

<sup>3</sup> Конструкторско-технологический институт научного приборостроения Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск 630058, Россия

**Аннотация.** Разработка современной приборной базы и новых количественных методов оценки объектов судебно-баллистической экспертизы, в частности следов выстрела, является актуальной задачей для экспертной практики.

Цель исследования – определение возможностей аппаратно-программного комплекса компьютерного зрения MS-Unit в количественной оценке основных и дополнительных характеристик выстрела для решения наиболее часто встречающейся задачи – определения дистанции выстрела. MS-Unit состоит из автономного спектрозонального осветительного прибора «Фотобокс 3138» с функцией белого света с высоким индексом цветопередачи CRI = 97+, цифровой фотокамеры, компьютера и десктопного приложения ImgOpinion.

Изучены возможности приложения ImgOpinion в формировании «паспорта повреждения». На основании предложенных алгоритмов измерений колориметрических характеристик проведена оценка качественно-количественных характеристик следов близкого выстрела на тестовых мишенях, образованных при стрельбе из короткоствольного стрелкового огнестрельного оружия. Представленное программное обеспечение обеспечивает точный математический расчет и анализ данных об отложении копоти на мишенях, дает возможность иллюстрирования полученных результатов в виде графиков и диаграмм.

**Ключевые слова:** компьютерное зрение, колориметрический анализатор, следы близкого выстрела, судебная экспертиза

**Для цитирования:** Латышов И.В., Васильев В.А., Пальчикова И.Г., Смирнов Е.С. Возможности использования аппаратно-программного комплекса компьютерного зрения MS-Unit в исследовании объектов судебных экспертиз // Теория и практика судебной экспертизы. 2024. Т. 19. № 1. С. 57–66. <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2024-1-57-66>

## Abilities of Using MS-Unit Computer Vision Hardware and Software Complex Studying Forensic Objects

 Igor V. Latyshov<sup>1</sup>,  Vasilii A. Vasil'ev<sup>2</sup>,  Irina G. Pal'chikova<sup>3</sup>,  Evgenii S. Smirnov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg University of the Ministry of the Interior of Russia, Saint Petersburg 198206, Russia

<sup>2</sup> Department of Traceology and Ballistics of the Educational and Scientific Complex of Forensic Activities of the Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Volgograd 400089, Russia

<sup>3</sup> The Laboratory of Computer Vision Systems, Design and Technology Institute of Scientific Instrumentation, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk 630058, Russia

**Abstract.** An urgent task for expert practice is to develop modern instrumentation and new quantitative methods of evaluation for objects of forensic ballistic examination, in particular, gunshot residues.

The purpose of this work is to determine the capability of the MS-Unit computer vision hardware and software complex in quantitative assessment of the main and additional characteristics of a shot to solve the most frequently encountered problem - determining the distance of the shot. MS-Unit consists of an autonomous spectrozonal illuminator "Photobox 3138" with white light function with high color rendering index CRI= 97+, digital camera, computer, and a desktop app ImgOpinion.

The authors have studied the functionality of ImgOpinion application when forming a "damage data sheet". Based on the proposed algorithms for measuring colorimetric characteristics, the qualitative and quantitative characteristics of the close shot traces on test targets produced by shooting from a short-barreled firearms have been assessed. The presented software provides accurate mathematical calculation and analysis of the data on the soot deposition on targets, as well as an opportunity to illustrate the obtained results in the form of graphs and diagrams.

**Keywords:** computer vision, colorimetric analyzer, gunshot residues, forensic examination

**For citation:** Latyshov I.V., Vasil'ev V.A., Pal'chikova I.G., Smirnov E.S. Abilities of Using MS-Unit Computer Vision Hardware and Software Complex Studying Forensic Objects. *Theory and Practice of Forensic Science*. 2024. Vol. 19. No. 1. P. 57–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2024-1-57-66>

При раскрытии и расследовании преступлений, связанных с применением стрелкового огнестрельного оружия, важные для установления обстоятельств события преступления задачи можно решить с помощью судебно-баллистического исследования повреждений, образовавшихся на преграде или одежде потерпевшего в результате выстрела. С этой целью в экспертной практике судебно-баллистической экспертизы широко используются накопленные в рамках судебной баллистики, судебной медицины и смежных с ними областях знания о закономерностях отображения, изъятия и фиксации следов выстрела.

При выстреле из стрелкового огнестрельного оружия на объекте поражения образуются следы – основной и дополнительные. Судебный эксперт при их исследовании зачастую использует весь спектр доступных ему методов: неразрушающие (исследование в ИК-, УФ-зоне спектра, рентгенографический метод), разрушающие (диффузно-контактный, эмиссионный спектральный анализ, хромато-масс-спектрометрия, вольтамперометрия и др.).

Среди неразрушающих методов для обнаружения дополнительных следов выстрела, например выявления отложения копоти на темных тканях, загрязненных либо залитых кровью, применяется исследование в ИК-диапазоне спектра [1].

Рентгенографическое исследование используется для обнаружения частиц тяжелых металлов (свинца, олова, меди, железа). Поскольку в ряде случаев, например, при маскировании зоны огнестрельного повреждения наслоениями крови, грунта, визуальное обнаружение следов близкого выстрела (порошинок, копоти, опаления) затруднительно, то о факте выстрела может

свидетельствовать наличие металлических частиц в пояске обтирания и примыкающей к нему зоне.

Наиболее доступный химический метод – диффузно-копировальный. Он позволяет при помощи цветных реакций дифференцировать металлы, которые являются частью отложения копоти выстрела. Метод является частично разрушающим, поскольку часть продуктов выстрела переносится на фиксирующий сорбент [2].

Наиболее чувствительный и универсальный метод определения металлов (продуктов выстрела) – эмиссионный спектральный анализ. Для количественной оценки содержания в пробах сурьмы и бария применяют метод внутреннего стандарта. Поскольку он является разрушающим и проводится для каждой пробы однократно, необходимо учитывать погрешность воспроизводимости (10–15 %) [3].

Хромато-масс-спектрометрия позволяет определять концентрации отдельных компонентов. В частности, с ее помощью реализуются методы, позволяющие определить уровень дифениламина, содержащийся в продуктах выстрела. Определив его концентрацию на поверхности поврежденных выстрелом объектов, например одежды, можно сделать вывод как о дистанции выстрела, так и о виде пороха, которым был снаряжен патрон. Концентрация вещества будет зависеть от времени, прошедшего с момента выстрела, качества упаковки и условий хранения вещественных доказательств<sup>1</sup>.

В качестве альтернативы разрушающим физико-химическим методам в ряде пу-

<sup>1</sup> Казимиров В.И. Обнаружение компонентов продуктов выстрела на объектах-носителях комплексом инструментальных методов: дис. канд. хим. наук. Н. Новгород, 2008. 129 с.

бликаций рассмотрены и раскрыты методы компьютерного зрения для решения задач судебно-баллистической экспертизы.

В 2009 году был предложен метод [4] улучшенного криминалистического анализа с использованием многокурсовой цифровой визуализации криминалистических образцов на множестве длин отраженных, рассеянных, излучаемых, передаваемых или поглощенных волн для получения новой детальной информации, позволяющей различать и дифференцировать криминалистические материалы и образцы.

На основе инструментальных возможностей колориметрического анализатора «Фотобокс 3138» [5] разработан алгоритм визуализации следов выстрела на сложных по цветовым характеристикам объектах (предметах одежды из темных и пестрых тканей) [6].

Для решения задач по установлению обстоятельств выстрела (в том числе определению дистанции выстрела) предложен метод анализа цифровых изображений следов выстрела (копоть, порошок) [7], включающий количественный расчет их морфологических характеристик. С помощью алгоритмов, обоснованных в статье Пальчиковой с соавторами 2021 года [8], можно определить топографию и отложение оптической плотности копоти выстрела на мишенях на различных дистанциях стрельбы и в дальнейшем использовать эти характеристики для решения задач по установлению дистанции выстрела.

Таким образом, разработка приборной базы и новых количественных методов оценки объектов судебно-баллистической экспертизы, в частности следов выстрела, является актуальной задачей для экспертной практики.

Цель работы – определить возможности аппаратно-программного комплекса ком-

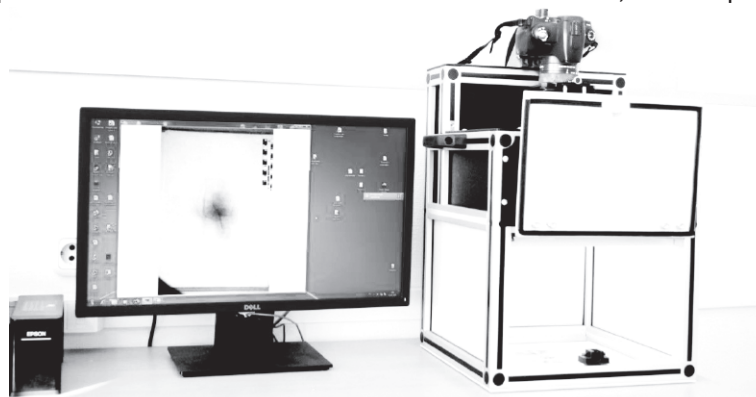
пьютерного зрения MS-Unit в количественной оценке основного и дополнительных следов выстрела для решения часто встречающейся задачи – определения дистанции выстрела.

### Материалы и методы

Аппаратно-программный комплекс компьютерного зрения MS-Unit [9] (рис. 1) разработан сотрудниками Конструкторско-технологического института научного приборостроения Сибирского отделения Российской академии наук (КТИ НП СО РАН) и является мультиспектральной системой визуализации, фиксации и обработки цифровых изображений объектов с целью выявления на них криминалистически значимой информации.

MS-Unit состоит из автономного спектрозонального осветительного прибора «Фотобокс 3138» [10, 11] с функцией белого света с высоким индексом цветопередачи CRI=97+, цифровой фотокамеры, компьютера и десктопного приложения ImgOpinion [12]. «Фотобокс 3138» оборудован универсальной площадкой с блендой и совместим со всеми основными моделями фото- и видеокамер. Встроенный аккумулятор обеспечивает автономную работу в течение не менее чем 4 часов. Набор из 7 полупроводниковых осветителей обеспечивает спектральный диапазон от 365 до 870 нм, а также осветитель белого света, близкий к D65.

«Фотобокс 3138» позволяет осуществить освещение как несколькими (или одной) узкими спектральными полосами, так и белым светом. Раздельное переключение спектральных диапазонов производится тумблерами. Камера прибора защищает рабочее поле от внешних засветок. Светодиоды расположены на рамках внутри камеры оптимальным образом: неравномерность освещения рабочего поля (300 x 300 мм) составляет менее 2,5 % на краях.



**Рис. 1.** Внешний вид аппаратно-программного комплекса MS-Unit  
**Fig. 1.** The appearance of the MS-Unit hardware and software complex

Методика применения MS-Unit ориентирована на получение в белом, монохроматическом, спектрозональном или мульти-спектральных режимах цифровых фотографий – изображений, пригодных для цифровой обработки и получения количественной информации для проведения экспертных оценок. В настоящей работе использовался осветитель белого света.

### Результаты и обсуждение

В судебно-экспертной практике часто возникают сложности в процессе исследования следов близкого выстрела. Выбор экспертом метода исследования для каждого конкретного случая всегда ситуативен и определяется природой следов выстрела, происхождением и состоянием объектов-носителей, иными факторами, принимаемыми во внимание в ходе исследования.

Для решения отдельных задач установления обстоятельств выстрела (дистанции выстрела) был разработан метод количественной оценки количества вещества (копоти) на мишени [8].

При построении математического описания отложения копоти на мишени были приняты во внимание следующие приближения:

- газопороховая струя имеет ограниченный объем, то есть при выстреле из ствола в виде струи истекает ограниченный объем вещества; на преграде (мишени) оседает 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; вещество копоти однородно; тогда масса  $m$  вещества на площади поверхности прямо пропорциональна произведению  $\sigma h$ ;

- при освещении мишени видимым светом происходит отражение, пропускание и поглощение света; выполняется соотношение  $R + A + T = \text{const}$ , где  $R$  – коэффициент отражения по интенсивности,  $A$  – коэффициент поглощения по интенсивности,  $T$  – коэффициент пропускания по интенсивности; без потери общности можно считать, что  $\text{const} = 1$ ; 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  $h$  слоя копоти приводит к пропорциональному уменьшению коэффициентов  $R$  и  $T$ , следовательно, 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 (в отраженном или 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 [13].

При фотосъемке «в проходящем свете» локальная яркость  $I_i$  в каждом пикселе цифрового изображения будет прямо пропорциональна  $T_i$ , завися при этом от толщины  $h_i$  слоя копоти на соответствующем участке поверхности мишени. Яркость измеряется в уровнях серого, и максимальное значение этой величины зависит от дигитализации камеры (256 уровней, если дигитализация – 8 бит на канал). Чтобы проанализировать характер распределения копоти по поверхности мишени на изображении могут быть выделены непересекающиеся области интереса. Здесь и далее индекс  $i$  отмечает величины, соотносимые с одним пикселем изображения. Соответственно,  $i$  – это номер пикселя, который в области выделения изменяется от 1 до  $N$ .

Масса  $m$  вещества копоти в различных областях мишени определяется по формуле:

$$m = ND_{\Sigma} \frac{\sigma}{\beta},$$

где  $\sigma$  – площадь одного пикселя,  $\beta$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий свойства пороха и адгезию продуктов выстрела к материалу мишени,  $D_{\Sigma}$  – интегральная оптическая плотность, которая характеризует массу вещества копоти на выделенном участке изображения:

$$D_{\Sigma} = \ln \frac{N \cdot I_0}{\sum_i I_i},$$



где  $I_0$  – яркость (среднее значение) на фотографии в местах отсутствия копоти.

Оптическая плотность в каждом пикселе цифрового изображения прямо пропорциональна толщине слоя копоти на соответствующем участке мишени. То есть оптическая плотность участка цифрового изображения характеризует массу копоти на поверхности преграды на соответствующем участке мишени. Набор таких данных, полученных с изображений мишеней, расположенных на различных расстояниях от дула ствола, может быть использован для определения параметров тела газопороховой струи при выстреле с близких дистанций.

Для оптимизации процесса расчета характеристик основного и дополнительных следов выстрела сотрудниками КТИ НПО СО РАН [9] было разработано специальное программное обеспечение (далее – ПО) ImgOpinion. С помощью него возможно осуществить систематизацию информации об объектах исследования, в том числе количественно определять морфологические характеристики следов выстрела, что по-

зволяет решать задачи по определению диаметра и особенностей конструкции образовавших повреждения снарядов, установлению дистанции выстрела.

ПО ImgOpinion имеет дружественный оконный интерфейс. На рисунке 2а показано окно, в котором актуализируются такие данные как: вид повреждения, механизм образования повреждения, их размерные характеристики (входное отверстие, минус ткани, поясок обтирания, минус материала) и ряд других.

На рисунке 2б представлено окно «Обработать изображение. Инструменты» (в режиме работы «автоматическое выделение зон окопчения»), в котором с помощью курсора несложно задать и провести измерения зон отложения копоти выстрела, а также определить их колориметрические показатели – средний цвет центральной зоны, средний цвет периферийной зоны окопчения, нормированные значения яркости и среднюю оптическую плотность отложения центральной и периферийной зон.

Интерфейс ПО ImgOpinion позволяет также задать и измерить зоны отложения зерен



**Рис. 2.** Оконный интерфейс ПО ImgOpinion: а) – «Морфология входного повреждения и основных следов выстрела» (дистанция 10 см, пистолет ПМ, патрон ППО 9х18 мм); б) – «Обработать изображение. Инструменты»; в) – задание координат области выделения для расчета интегральной угловой оптической плотности

**Fig. 2.** ImgOpinion software. Window interface. а) – Window "Morphology of the entrance damage and the main traces of the shot", 10 cm distance, PM pistol, 9x18 mm PPO cartridge; б) – Window "Process image. Tools"; в) – Illustration of setting the coordinates of the selection area for calculation of integral angular optical density

пороха, систематизировать полученные характеристики следов близкого выстрела и сформировать «паспорт повреждения» как комплексную типизированную характеристику (образ) огнестрельного повреждения и следов выстрела в привязке к конкретным условиям выстрела (вид и диаметр образовавшей повреждение пули (снаряда), дистанции выстрела и др.).

Следы выстрела на мишени связаны с количеством и распределением вещества копоти в поперечном сечении газопороховой струи, для анализа которых ПО *ImgOpinion* предоставляет интерфейс автоматического построения графиков радиальной зависимости интегральной, дифференциальной и средней оптических плотностей на изображении в концентрических кругах с центром в точке центра повреждения. Графики и данные, по которым они строятся, могут быть сохранены в файлы \*.png и текстовые файлы.

Графические зависимости строятся для следующих функций:

– «интегральная оптическая плотность отложения копоти выстрела» в зависимости от радиальной координаты  $R$  на выделенном круге или в зависимости от площади выделения  $S=\pi R^2$ :

$$D_{\Sigma}(R) = \ln\left(\frac{NI_0}{\sum_{i=0}^N I_i}\right) \pi R^2,$$

где  $N$  – количество пикселей в круге выделения.

– «Интегральная нормированная оптическая плотность отложения копоти выстрела» в зависимости от радиальной координаты  $R$  на выделенном круге радиуса  $R_{max}$  (в мм) или в зависимости от площади выделения  $S=\pi R^2$ :

$$\frac{D_{\Sigma}(R)}{\pi R_{max}^2} = \ln\left(\frac{NI_0}{\sum_{i=0}^N I_i}\right) \left(\frac{R}{R_{max}}\right)^2.$$

– «Дифференциальная оптическая плотность» в зависимости от радиальной координаты  $R$  на выделенном круге, вычисляемая как приращение интегральной оптической плотности  $\Delta D_{\Sigma}(R)$  по мере увеличения радиальной координаты  $R$  на выделенном круге:

$$\Delta D_{\Sigma}(R) = D_{\Sigma}(R) - D_{\Sigma}(R - \Delta R).$$

– «Дифференциальная нормированная оптическая плотность» в зависимости от

радиальной координаты  $R$  на выделенном круге радиуса  $R_{max}$  (в мм):

$$\frac{\Delta D_{\Sigma}(R)}{\pi R_{max}^2} = \frac{D_{\Sigma}(R) - D_{\Sigma}(R - \Delta R)}{\pi R_{max}^2}.$$

– «Интегральная угловая оптическая плотность отложения копоти выстрела» в зависимости от угловой координаты  $\alpha$ , в секторе кольцевого выделения с начальным и конечным углом  $\alpha_j$  и  $\alpha_{j-1}$  соответственно, как показано на рисунке 2 серым цветом. Радиусы окружностей  $R_{min}$  и  $R_{max}$ , ограничивающих кольцевое выделение, задаются в интерфейсе ПО:

$$D_{\Sigma}(\alpha_j) = \ln\left(\frac{NI_0}{\sum_{i=0}^N I_i}\right),$$

где  $N$  – количество пикселей в секторе выделения (и зависит от угла  $\alpha_j$  сектора выделения). Задание внешнего и внутреннего радиусов кольца выделения позволяет исключить из расчета области изображения, не содержащие следов выстрела, а задание количества точек графика позволяет регулировать точность вычислений.

Для проведения экспериментального исследования были подготовлены мишени из хлопчатобумажной ткани производства ООО «Камышинский текстиль» (Волгоградская обл.), плотность ткани  $150 \pm 8$  г/м<sup>2</sup> (ГОСТ 29298-2005), размер мишени – 30 x 30 см.

Экспериментальные стрельбы осуществляли из 9 мм пистолета Макарова патроном 9 x 18 мм (ППО) в вертикально закрепленные на стенде мишени. Подложкой для мишеней служил многослойный гофрированный картон. Проводили по три параллельных отстрела с каждой дистанции.

Мишени, полученные при экспериментальной стрельбе, фотографировали с помощью фотокамеры SONY DSLR-S230 в комплексе MS-Unit при заданных настройках (диафрагма – f/22, ISO – 100, выдержка 1/3 с), которые не искажают цветопередачу, не выполняют коррекцию яркости и допускают количественную фотограмметрию. Полученные цифровые изображения мишеней обрабатывали при помощи ПО *ImgOpinion*.

Для определения основных количественных характеристик был проведен расчет интегрального и дифференциального распределения копоти выстрела в зависимости от расстояния от центра области мишени со

следами копоти. При проведении эксперимента использовали 9 мм пистолет Макарова (патрон 9 x 18 мм ППО) на дистанции 1 см. Изображения мишеней приведены на рисунке 3.

Для каждого изображения были отдельно рассчитаны интегральная и дифференциальная оптические плотности,  $\overline{D}_{\Sigma}(R)$  и  $\Delta\overline{D}_{\Sigma}(R)$  отложения копоти выстрела, затем данные, полученные в трех параллельных экспериментах для дистанции 1 см, усреднялись. На рисунке 3 сплошной линией показан график зависимости средней интегральной оптической плотности  $\overline{D}_{\Sigma}(R)$  от радиуса  $R$ . При этом вертикальные маркеры (I) указывают диапазон среднеквадратичного отклонения. Ход линии графика позволяет судить о характере нарастания слоя копоти. По мере увеличения радиуса  $R$  от центра мишени наблюдается интенсивный рост оптической плотности и ярко выраженный перегиб на расстоянии 23,5 мм.

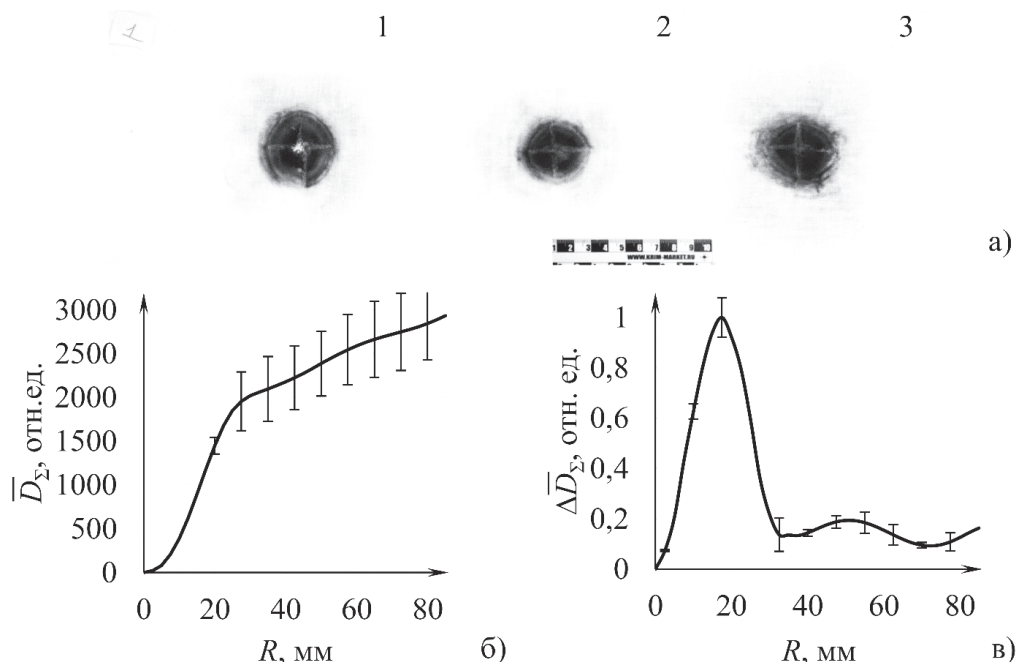
Далее интенсивность накопления оптической плотности копоти выстрела ослабевает, линия графика становится более пологой, что свидетельствует об окончании одной и начале другой зоны окопчения. По мере увеличения радиуса  $R$  от центра ми-

шени скорость роста оптической плотности увеличивается, достигая максимума при  $R_f = 19,8$  мм. По-видимому, при  $R > R_f$  концентрация вещества копоти в поперечном сечении газопороховой струи уменьшается, что, в свою очередь, приводит к уменьшению скорости роста оптической плотности.

Второй максимум наблюдается при  $R = 48$  мм. На графике (рис. 4) также имеется два минимума. Первый находится на расстоянии 38 мм – интенсивность отложения копоти в нем снижается, что свидетельствует об окончании центральной зоны окопчения и начале периферийной. Второй минимум наблюдается на расстоянии 78 мм и свидетельствует об окончании периферийной зоны.

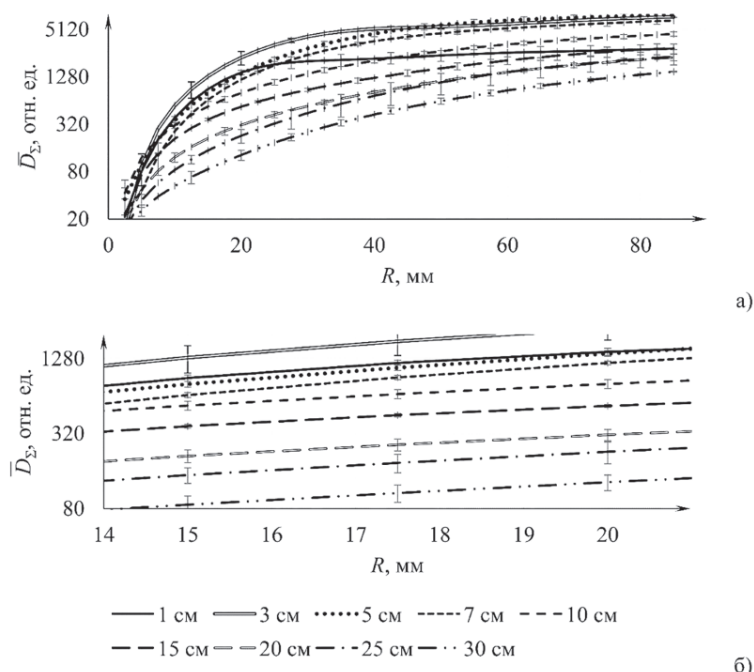
Аналогичные расчеты были выполнены для изображений мишеней, полученных в трех параллельных экспериментах на дистанции от 0 до 80 см (рис. 4). Расчет выполнялся по изображениям трех мишеней для каждой дистанции (патрон ППО 9 x 18 мм, пистолет ПМ, хлопчатобумажная ткань производства «Камышинский текстиль», изготовленная по ГОСТ 29298-2005).

На рисунке 4 представлены графики зависимостей средней интегральной оптиче-



**Рис. 3.** Обработка фотографий мишеней: а) отложение копоти выстрела на мишенях с дистанции 1 см; в трех сериях отстрела мишеней; б) зависимость интегральной оптической плотности, усредненной по данным трех экспериментов  $\overline{D}_{\Sigma}(R)$ , от радиуса  $R$  области выделения; в) зависимость дифференциальной оптической плотности, усредненной по данным трех экспериментов  $\Delta\overline{D}_{\Sigma}(R)$ , от радиуса  $R$  области выделения

**Fig. 3.** Processing of target photographs: a) soot deposition on targets at a distance of 1 cm; in three series of target shooting; b) dependence of integral optical density averaged over the data of three experiments  $\overline{D}_{\Sigma}(R)$  on the radius  $R$  of the extraction area; c) dependence of the differential optical density averaged over the data of three experiments  $\Delta\overline{D}_{\Sigma}(R)$ , on the radius  $R$  of the selection area



**Рис. 4.** Зависимость интегральной оптической плотности, усредненной по данным трех экспериментов  $\overline{D}_{\Sigma}(R)$ , от радиальной координаты  $R$  в области выделения для различных дистанций выстрела. Ось ординат дана в логарифмическом масштабе: а) диапазон радиусов 0–80 мм; б) диапазон радиусов 14–21 мм

**Fig. 4.** Dependence of the integral optical density averaged over the data of three experiments  $\overline{D}_{\Sigma}(R)$  on the radial coordinate  $R$  in the selection region for different shot distances. The ordinate axis is given in the logarithmic scale: а) radius range 0–80 mm; б) radius range 14–21 mm

ской плотности  $\overline{D}_{\Sigma}(R)$  от радиуса  $R$  (вертикальные маркеры (I) указывают диапазон среднеквадратичного отклонения), типы линий графиков указывают дистанцию выстрела и обозначены в нижней части рисунка. Линии графиков достаточно хорошо разделяются практически на всем интервале, характерном для близкого выстрела. Сложности возникают на дистанциях свыше 40 см, когда отложения копоти выстрела на мишенях похожи и слабо дифференцируемы (имеется входное огнестрельное повреждение, поясok обтирания).

В диапазоне радиусов  $R$  областей выделения от 14 до 21 мм наблюдается близкая к линейной зависимость  $\overline{D}_{\Sigma}(R)$  (рис. 5). В этом диапазоне линии графиков не пересекаются, и возможно взаимно однозначно сопоставить среднюю интегральную оптическую плотность  $\overline{D}_{\Sigma}(R)$  и дистанции выстрела.

Сопоставление полученных экспериментальных данных позволяет заключить, что:

- колориметрический анализ компьютерного зрения показал себя как эффективный способ решения диагностических задач судебно-баллистической экспертизы; представленная в работе математическая модель позволяет провести расчет оптической плотности отложения копоти выстрела и характеризовать количественно следы близкого выстрела;

- при помощи аппаратно-программного комплекса компьютерного зрения MS-Unit можно описать дифференциальное и интегральное отложение копоти выстрела на каждой дистанции для конкретного экземпляра стрелкового огнестрельного оружия.

### Выводы

Показана принципиальная возможность использования аппаратно-программного комплекса компьютерного зрения MS-Unit при исследовании мишеней, содержащих следы выстрела.

Представленное ПО ImgOpinion обеспечивает точный математический расчет и анализ данных об отложении копоти выстрела на мишенях, дает возможность представления расчетных данных и полученных результатов в виде графиков и диаграмм.

Коэффициенты вариации экспериментально полученных данных для дифференциальной оптической плотности  $\Delta \overline{D}_{\Sigma}(R)$  находятся в пределах от 10 % до 15 %, то есть степень рассеяния данных является средней.

Из экспериментально найденной зависимости дифференциальной оптической плотности  $\Delta \overline{D}_{\Sigma}(R)$  от радиуса  $R$  возможно определить радиусы центральной и периферийной зон отложения копоти выстрела.



Линии графиков зависимости  $\overline{\Delta D_{\Sigma}(R)}$  достаточно хорошо разделяются для различных дистанций выстрела практически на всем интервале, характерном для зоны близкого выстрела. В диапазоне радиусов  $R$  областей выделения от 14 до 21 мм линии графиков не пересекаются, и возможно взаимно однозначное сопоставление сред-

ней интегральной оптической плотности  $\overline{D_{\Sigma}(R)}$  и дистанции выстрела.

Необходимо продолжить работу по получению экспериментальных данных на комплексе MS-Unit для различных видов и моделей стрелкового оружия для построения базы данных, которая может быть использована в экспертной практике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов В.Л., Шигеев В.Б., Кузнецов Л.Е. Судебно-медицинская баллистика. СПб.: Гиппократ, 2002. 656 с.
2. Стальмахов А.В., Сумарока А.М., Егоров А.Г., Сухарев А.Г. Судебная баллистика и судебно-баллистическая экспертиза: учеб. пособие. Саратов: СЮИ, 1998. 86 с.
3. Мокроусов А.А., Одиноккина Т.Ф., Симонов М.Д., Сорокин В.И. Выявление продуктов выстрела на руках и одежде проверяемых лиц с целью установления факта производства ими стрельбы: метод. рекомендации. М.: ЭКЦ МВД России, 1999. 33 с.
4. Treado P.J., Exline D.L., Wolfe J. Method for Improved Forensic Analysis. ChemImage Corporation. United States Patent US 2009/0092281 A1. April 9, 2009.
5. Пальчикова И.Г., Карамшук Е.В., Смирнов Е.С., Пальчиков Е.И., Самойленко М.С. Многофункциональный полупроводниковый осветитель // Доклады АН ВШ РФ. 2020. № 3 (48). С. 62–74. <https://doi.org/10.17212/1727-2769-2020-3-62-74>
6. Пальчикова И.Г., Смирнов Е.С., Латышов И.В., Васильев В.А., Кондаков А.В. Возможности использования многофункционального светодиодного прибора в исследовании объектов судебных экспертиз // Судебно-медицинская экспертиза. 2022. Т. 65. № 3. С. 24–29. <https://doi.org/10.17116/sudmed20226503124>
7. Латышов И.В., Пальчикова И.Г., Кондаков А.В., Васильев В.А., Смирнов Е.С. Паспорт огнестрельного повреждения как интегративная часть инновационных аппаратно-программных комплексов // Судебная экспертиза. 2020. Т. 62. № 2. С. 58–66. <https://doi.org/10.25724/VAMVD.NMNO>
8. Palchikova I.G., Latyshov I.V., Smirnov E.S., Vasiliev V.A., Kondakov A.V., Budaeva I.A. Computer Vision in Analyzing the Propagation of a Gas-Gunpowder Jet // Sensors. 2021. Vol. 22. No. 1. 6. <https://doi.org/10.3390/s22010006>
9. Пальчикова И.Г., Будаева И.А., Смирнов Е.С., Латышов И.В., Кондаков А.В., Васильев В.А. Аппаратно-программный комплекс для составления паспорта огнестрельного повреждения // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2022): Сборник трудов по материалам VIII Междунар. конф. и молодежной школы (Самара, 23–27 мая 2022 г.). In 5 volumes. Vol. 3: Recognition, Processing and

#### REFERENCES

1. Popov V.L., Shigeev V.B., Kuznetsov L.E. *Forensic Medical Ballistics*. Saint-Petersburg: Hippokrat, 2002. 656 p. (In Russ.).
2. Stal'makhov A.V., Sumaroka A.M., Egorov A.G., Suharev A.G. *Forensic Ballistics and Ballistic Examination: Textbook*. Saratov: SYul, 1998. 86 p. (In Russ.).
3. Mokrousov A.A., Odinokkina T.F., Simonov M.D., Sorokin V.I. *Identification of Gunshot Products on the Hands and Clothes of the Persons Checked to Establish the Fact of Them Shooting: Methodological Recommendations*. Moscow: EKTs MVD Rossii, 1999. 33 p. (In Russ.).
4. Treado P.J., Exline D.L., Wolfe J. *Method for Improved Forensic Analysis*. ChemImage Corporation. United States Patent US 2009/0092281 A1. Apr. 9<sup>th</sup>, 2009.
5. Palchikova I.G., Karamshuk E.V., Smirnov E.S., Palchikov E.I., Samoilenko M.S. Multi-Functional Semiconductor Lighting. *Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences*. 2020. No. 3 (48). P. 62–74. (In Russ.). <https://doi.org/10.17212/1727-2769-2020-3-62-74>
6. Palchikova I.G., Smirnov E.S., Latyshov I.V., Vasil'ev V.A., Kondakov A.V. Capabilities of Using a Multifunctional LED Device in the Study of Objects of Forensic Examination. *Forensic Medical Expertise*. 2022. Vol. 65. No. 3. P. 24–29. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/sudmed20226503124>
7. Latyshov I.V., Pal'chikova I.G., Kondakov A.V., Vasil'ev V.A., Smirnov E.S. Gunshot Damage Data Sheet as an Integrative Part of Innovative Hardware / Software Complexes. *Forensic Examination*. 2020. Vol. 62. No. 2. P. 58–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.25724/VAMVD.NMNO>
8. Pal'chikova I.G., Latyshov I.V., Smirnov E.S., Vasil'ev V.A., Kondakov A.V., Budaeva I.A. Computer Vision in Analyzing the Propagation of a Gas-Gunpowder Jet. *Sensors*. 2021. Vol. 22. No. 1. 6. <https://doi.org/10.3390/s22010006>
9. Pal'chikova I.G., Budaeva I.A., Smirnov E.S., Latyshov I.V., Kondakov A.V., Vasil'ev V.A. Hardware and Software Complexes Used to Draw Up a Data Sheet of Firearm Damage. *Information Technologies and Nanotechnologies: Collection of Works on the Materials of VIII International Conference of Youth Schools*. Samara, May 23–27, 2022. Samara: Samarskii natsional'nyi

- Analysis of Images / V.V. Myasnikov (ed.). Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2022. С. 962.
10. Пальчикова И.Г., Карамшук Е.В., Смирнов Е.С., Пальчиков Е.И., Самойленко М.С. Автономный спектрозональный осветительный прибор с функцией белого света с высоким индексом цветопередачи // Приборы и техника эксперимента. 2021. № 3. С. 155–157. <https://doi.org/10.31857/S0032816221030241>
  11. Пальчикова И.Г., Латышов И.В., Смирнов Е.С., Кондаков А.В., Васильев В.А. Колориметрический метод в решении задач по установлению обстоятельств выстрела // Судебная экспертиза. 2019. Т. 58. № 2. С. 28–37. <https://doi.org/10.25724/VAMVD.GUVW>
  12. Пальчикова И.Г., Смирнов Е.С., Будаева И.А. Программный продукт Десктопное приложение ImgOpinion. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022660060 Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 30.05.2022 г.
  13. Пальчикова И.Г., Латышов И.В., Васильев В.А., Кондаков А.В., Смирнов Е.С. Цветовой анализ цифровых изображений при производстве экспертных исследований следов выстрела // Доклады Академии наук ВШ РФ. 2015. Т. 27. № 2. С. 88–101. <https://doi.org/10.17212/1727-2769-2015-2-88-101>
  10. Pal'chikova I.G., Karamshuk E.V., Smirnov E.S., Pal'chikov E.I., Samoilenko M.S. An Autonomous Spectrosonal Lighting Device with a White Light Function with a High Color Rendering Index. *Experiment Instruments and Techniques*. 2021. No. 3. P. 155–157. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0032816221030241>
  11. Pal'chikova I.G., Latyshov I.V., Smirnov E.S., Kondakov A.V., Vasil'ev V.A. Colorimetric Method Used for Establishing Circumstances of Fireshot. *Forensic Examination*. 2019. Vol. 58. No. 2. P. 28–37. (In Russ.). <https://doi.org/10.25724/VAMVD.GUVW>
  12. Pal'chikova I.G., Smirnov E.S., Budaeva I.A. Software Product "ImgOpinion Desktop Application". Certificate of State Registration of the Computer Program No. 2022660060 Federal Service for Intellectual Property. Date of State Registration in the Register of Computer Programs 30.05.2022. (In Russ.).
  13. Pal'chikova I.G., Latyshov I.V., Vasil'ev V.A., Kondakov A.V., Smirnov E.S. Color Analysis of Digital Images in Expert Judgement of Shot's Trace. *Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences*. 2015. Vol. 27. No. 2. P. 88–101. (In Russ.). <https://doi.org/10.17212/1727-2769-2015-2-88-101>

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Латышов Игорь Владимирович** – д. юр. н., доцент, профессор кафедры криминалистических экспертиз и исследований Санкт-Петербургского университета МВД России; e-mail: latyshov@gmail.com

**Васильев Василий Алексеевич** – к. х. н., доцент, доцент кафедры трасологии и баллистики учебно-научного комплекса экспертно-криминалистической деятельности Волгоградской академии МВД России; e-mail: v-vasiliev@inbox.ru

**Пальчикова Ирина Георгиевна** – д. т. н., доцент, заведующая лабораторией систем компьютерного зрения Конструкторско-технологического института научного приборостроения Сибирского отделения Российской Академии наук; e-mail: palchikova@gmail.com

**Смирнов Евгений Сергеевич** – старший научный сотрудник лаборатории систем компьютерного зрения Конструкторско-технологического института научного приборостроения Сибирского отделения Российской Академии наук; e-mail: evgenii.s.smirnov@yandex.ru

## ABOUT THE AUTHORS

**Latyshov Igor Vladimirovich** – Doctor of Law, Associate Professor, Professor of the Department of Forensic Examinations and Research at the St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia; e-mail: latyshov@gmail.com

**Vasil'iev Vasilii Alekseevich** – Candidate of Chemistry, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Traceology and Ballistics of the Educational and Scientific Complex of Forensic Activities of the Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia; e-mail: v-vasiliev@inbox.ru

**Pal'chikova Irina Georgievna** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Computer Vision Systems of the Design and Technology Institute of Scientific Instrumentation of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: palchikova@gmail.com

**Smirnov Evgenii Sergeevich** – Senior Researcher at the Laboratory of Computer Vision Systems of the Design and Technology Institute of Scientific Instrumentation of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: evgenii.s.smirnov@yandex.ru

Статья поступила: 14.01.2024

После доработки: 15.02.2024

Принята к печати: 22.02.2024

Received: January 14, 2024

Revised: February 15, 2024

Accepted: February 22, 2024