

**ЭКСПЕРТИЗА ДОКУМЕНТОВ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ****С.А. Николаев**

wynaut@yandex.ru

SPIN-код: 4175-0993

**МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация****Аннотация**

*В практике судебных экспертиз актуальна проблема определения временной последовательности нанесения письменного и печатного текстов в случаях, когда указанные тексты не имеют областей пересечения. Предложено решить эту проблему путем металлографического исследования образцов документов и анализа колориметрических свойств полученных данных. Основанием предложенного метода является специфическое изменение цвета распыленных на листе бумаги частиц тонера, находящихся под слоем пасты и наблюдаемых в микроскоп в отраженном свете. Представлены результаты экспериментов по оценке колориметрических свойств частицы тонера для случаев нанесения письменного и печатного текстов в различной последовательности. Для обоих случаев выявлены характерные значения цветового отличия.*

**Ключевые слова**

*Документооборот, микроскопия, колориметрические методы, цветовые отличия, отраженный свет, колориметрические системы, цветовое пространство*

Поступила в редакцию 12.01.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

**Введение.** В практике судебных экспертиз часто возникает проблема определения временной последовательности процессов печати текста какого-либо документа и письменной подписи документа или резолюции на него. В сложившихся теории и практике делопроизводства считается законной указанную выше временная последовательность. Случаи, когда эта последовательность становится обратной, часто носит криминалистический характер и является предметом судебных процессов [1, 2].

Указанная проблема становится тривиальной, если напечатанный текст и текст письма имеют области пересечения. Она решается известными методами микроскопии, которые широко используются в практике судебной экспертизы.

Целью настоящей работы является разработка методов определения временной последовательности нанесения письменного и печатного текстов в случаях, когда указанные тексты не имеют областей пересечения.

Основанием для разработки данных методов служат следующие обстоятельства, которые обнаруживаются при нанесении текстов:

1) при печати текста лазерным принтером на всей площади страницы выпадают частицы тонера размером 2–20 мкм [3], плотность распределения которых увеличивается по мере увеличения срока службы принтера. В любом случае эта плотность является вполне достаточной для того, чтобы большое количество

частиц оказалось над либо под письменным текстом, в зависимости от исследуемой временной последовательности;

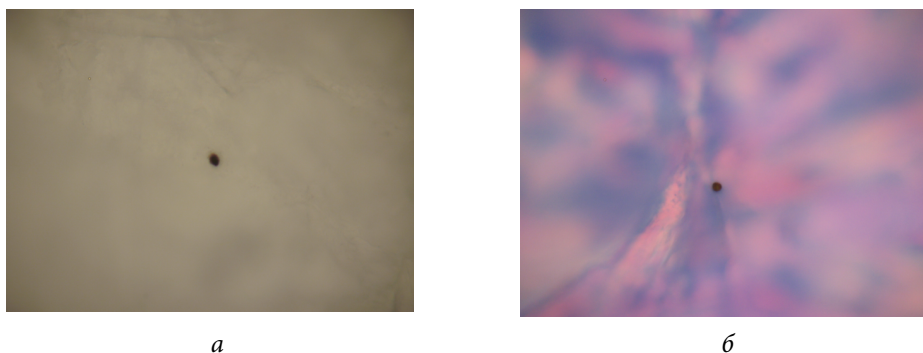
2) При нанесении подписи или текста резолуции частицы тонера, оказавшиеся под слоем пасты или геля, при наблюдении под микроскопом в отраженном свете оказываются окрашенными в радужные цвета.

**Обоснование предложенного метода.** Как известно, принцип работы лазерного принтера состоит в перенесении на бумагу изображения, формируемого электрофотографическим методом на фотовал, представляющий собой цилиндр с покрытием из фотополупроводника. Первоначально на поверхность вращающегося фотовала наносится равномерный отрицательный электрический заряд. Затем луч лазера, сканируя поверхность фотовала, формирует электростатическое изображение в виде распределения ослабленного заряда. Изображение проявляется при соприкосновении с роликом проявки, на который подается тонер, также имеющий отрицательный заряд и притягивающийся к фотовалу в местах засветки. Бумага прокатывается между фотовалом и роликом переноса, который сообщает бумаге положительный заряд, в результате чего частицы тонера переносятся на бумагу.

Закрепление изображения происходит в печке за счет нагрева и давления. Печка представляет собой два соприкасающихся вала, между которыми проходит бумага. При нагреве бумаги (180–220 °С) тонер, притянутый к ней, расплавляется и в жидком виде вжимается в текстуру бумаги. Выйдя из печки, тонер быстро застывает, что создает постоянное изображение, устойчивое к внешним воздействиям [4].

Характерной чертой лазерных принтеров является «распыление» частиц электрофотографического тонера по всей поверхности бумаги. Причем в области, где печатный текст отсутствует, частицы тонера распределены приблизительно равномерно и со сравнительно большой частотой так, что в поле зрения микроскопа с увеличением 320 крат можно наблюдать в среднем от 10 до 40 частиц.

Отдельная частица электрофотографического тонера на бумаге или слое пасты представляет собой объект неправильной формы с выпуклой поверхностью размером порядка 2–10 мкм, обладающий высоким коэффициентом поглощения в видимой области спектра, в силу чего наблюдается черное пятно (рис. 1).



**Рис. 1.** Частица тонера на белой бумаге (а) и слое пасты (б)

При наблюдении штрихов пасты или геля на бумаге через микроскоп в отраженном свете со светлым полем цвет красителя отличается от цвета, наблюдаемого невооруженным глазом в рассеянном свете. Это связано с тем, что наблюдаемая цветовая картина формируется сложением полихроматического излучения источника света микроскопа, диффузно отраженного от волокон бумаги и дважды прошедшего слой красителя, и излучением, почти зеркально отраженным от поверхности красителя. Вторая составляющая, как показали многочисленные наблюдения, располагается в желто-зеленой области спектра, и видимое искажение цвета, вносимое ею, тем сильнее, чем плотнее фон на данном участке пленки красителя. То есть золотистый блик особенно заметен на темных вкраплениях и участках с толстым слоем пасты или геля. Особенно отчетливый блик наблюдается в местах нахождения частиц тонера под пастой, поскольку в этих местах практически отсутствует диффузная составляющая отраженного света (рис. 2).

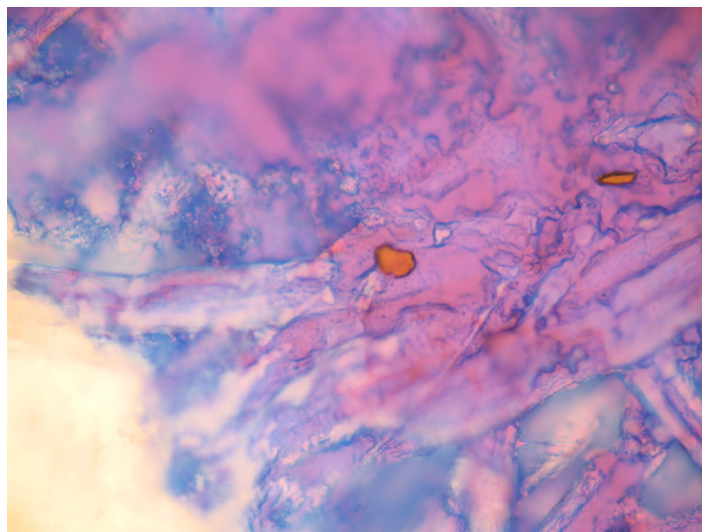


Рис. 2. Частица тонера под слоем пасты

Таким образом, частицы тонера, находящиеся под слоем пасты или геля выглядят, как окрашенные, в то время как частицы, находящиеся на пасте практически не изменяют свой цвет по сравнению с такими же частицами на бумаге. На этом основана существующая методика анализа взаимного положения слоя пасты или геля и частиц тонера.

**Использование колориметрических методов для определения взаимного положения частиц тонера и пишущих паст и гелей.** Как показано выше, при визуальных микроскопических исследованиях определение взаимного положения частиц тонера и слоя пасты или геля основано на изменении окраски частиц тонера в зависимости от положения этих частиц. Если частица находится сверху слоя, то по сравнению с частицами, находящимися на бумаге, изменение цвета незначительно. В другом случае, когда частица находится под слоем пасты, происходит заметное изменение ее цвета, при этом не происходит измене-

ния цвета самой частицы. Происходит изменение окраски пасты, возникающее из-за интерференционных явлений на ее поверхностном слое. Поскольку коэффициент поглощения частицы высокий, то в отраженном свете при визуальном наблюдении это изменение отчетливо наблюдается.

Описанный способ определения положения частиц по отношению к слою пасты или геля имеет существенный недостаток — это субъективный способ оценки изменения цвета частицы. Ниже будет рассмотрен и предложен для практического использования объективный способ, основанный на колориметрических измерениях.

Теоретической основой колориметрии является положение о том, что любой цвет может быть выражен в виде линейной суперпозиции трех линейно независимых цветов (закон трехмерности цвета) [5, 6]. В настоящее время существует и используется на практике несколько колориметрических систем, среди которых наибольшее применение получили системы  $RGB$ ,  $XYZ$  и  $UVW$  [7, 8]. В системе  $RGB$  любой цвет может быть получен в виде суммы трех основных цветов: красного ( $R$ ), зеленого ( $G$ ) и синего ( $B$ ).

Одной из основных задач при цветовых измерениях является определение цветового различия между двумя цветами. Идеальной формулы для количественной оценки цветового отличия не существует, и невозможно сравнивать цветовые отличия, найденные по двум разным формулам. На практике наибольшее распространение получили формула Хантера, использующая систему  $XYZ$ , и формула CIE76, использующая систему  $L^*a^*b^*$  [9, 10]:

$$\Delta E^* = \sqrt{(a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2 + (L^*_1 - L^*_2)^2}, \quad (1)$$

где координаты  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  получают из координат системы  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  следующим образом:

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 16, \\ a^* &= 500 \left( \sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right), \\ b^* &= 200 \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} \right). \end{aligned} \quad (2)$$


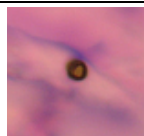
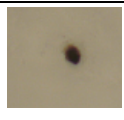
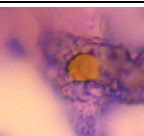


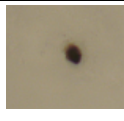
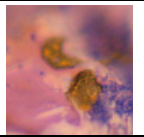
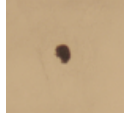
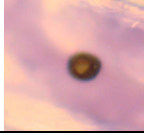
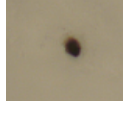
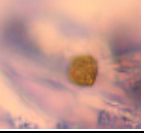

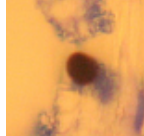




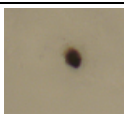

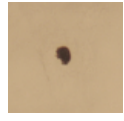

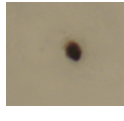
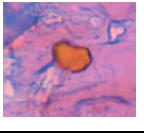

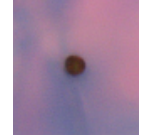
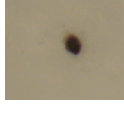
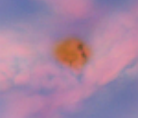
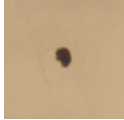

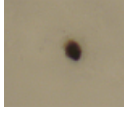

Здесь  $X_n$ ,  $Y_n$ ,  $Z_n$  — коэффициенты нормировки, соответствующие координатам белого цвета.

**Расчет цветовых отличий.** Основной целью настоящего раздела является проведение экспериментов и последующий расчет цветовых отличий фотографий частиц тонера, находящихся над или под пишущим слоем пасты или геля, по сравнению с фотографиями частиц тонера на бумаге. При проведении экспериментов ставилась задача подтвердить или опровергнуть предположение о том, что цветовые отличия частичек тонера, находящихся на пишущем слое и

частичек на белом фоне того же листа, имеют небольшие числовые значения, а цветовые отличия частичек тонера под пишущим слоем и частиц на белом фоне характеризуются значительно большими числовыми значениями.

В экспериментах использовали пять видов шариковых ручек с синей и фиолетовой пастами, и три ручки с синим и фиолетовым гелями. Фотографии частиц получены на микроскопе при увеличении 800 крат в отраженном свете. Результаты эксперимента приведены в таблице. Расчеты проводили согласно формуле (1).

**Результаты эксперимента расчета цветовых отличий**

№ п/п	Пишущий слой (паста или гель)	Эталон-частица тонера на бумаге	Тонер поверх пишущего слоя	$\Delta E^*$	Эталон-частица тонера на бумаге	Пишущий слой поверх тонера	$\Delta E^*$
1	Шариковая ручка с пастой синего цвета 1			24,21			97,34
2	Шариковая ручка с пастой синего цвета 2			33,73			67,62
3	Шариковая ручка с пастой синего цвета 3			34,87			68,98
4	Шариковая ручка с пастой синего цвета 4			13,65			67,78
5	Шариковая ручка с пастой фиолетового цвета 1			22,52			92,25
6	Гелевая ручка с чернилами синего цвета 1			31,09			104,02
7	Гелевая ручка с чернилами синего цвета 2			33,07			85,31
8	Гелевая ручка с чернилами фиолетового цвета 1			20,58			145,57

Как видно из представленных данных, в случае нахождения частиц тонера поверх пишущего слоя пасты или геля величина цветового отличия невелика и располагается в экспериментально прослеживаемом диапазоне  $0 < \Delta E^* < 35$ . В случае, когда частички тонера расположены под пишущим слоем, их цветовое отличие от частиц на белом фоне велико. Экспериментально подтвержденная величина  $\Delta E^* < 65$ .

Таким образом, можно считать доказанным, что количественная мера цветовых отличий изображения частиц тонера, находящихся над или под слоем пишущей пасты и изображения частиц на фоне белого листа бумаги, является надежным объективным критерием определения взаимного положения частиц тонера и пишущего слоя.

**Выводы.** Проведены микроскопические исследования частиц тонера находящихся над и под пишущим слоем паст и гелей. Доказано, что изменение цвета частиц наиболее выражено, когда частица тонера находится под слоем пасты или геля. Предложен и подтвержден экспериментально объективный метод определения положения частиц тонера на основе расчета цветовых отличий частиц на белом фоне листа бумаги и частиц на фоне штриха пасты или геля. Показано, что в случае нахождения частицы на пишущем слое, указанные цветовые отличия не превышают 35 единиц, а когда частица находится под слоем пасты или геля — составляют не менее 65 единиц.

Полученные результаты могут служить основанием для проведения дальнейших исследований по разработке методов и программного обеспечения для проведения экспертизы определения временной последовательности нанесения печатного и письменного текстов.

## Литература

- [1] Досова А.В. *Теоретические и практические особенности комплексного криминалистического исследования документов с измененными реквизитами*. Дисс. ... канд. юрид. наук. Волгоград, 2014, 233 с.
- [2] Michael J. Allen *foundations of forensic document analysis: theory and practice*. Wiley-Blackwell, 2015, 264 p.
- [3] Водолазов А.В., Вашкевич Н.А. Лазерная абляция и сферы ее применения. *Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы*, № 1(41), 2017, с. 136–140.
- [4] Степанов А.П. Некоторые аспекты криминалистического исследования лазерных принтеров и документов, выполненных с их помощью. *Вестник Астраханского государственного технического университета*, № 5, 2007, с. 199–202.
- [5] Джадд Д., Вышецки Г. *Цвет в науке и технике*. Москва, Мир, 1978, 592 с.
- [6] Sharma G., Bala R. *Digital color imaging handbook*. CRC Press, 2003, 840 p.
- [7] Logvinenko A.D. The geometric structure of color. *Journal of Vision*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 1–9.
- [8] Fairchild, Mark D. *Color appearance models*. Wiley, 2005, 408 p.
- [9] Robertson A.R. Historical development of CIE recommended color difference equations. *Color Research & Application*, 1990, vol. 15, no. 3, pp. 167–170.
- [10] *Colorimetry — Part 4: CIE 1976 L\*a\*b\* Colour Space*. CIE Draft Standard. 2007. CIE, 12 p.

**Николаев Сергей Алексеевич** — студент кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Хорохоров Алексей Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

## EXPERT REVIEW OF DOCUMENTS BY MEANS OF THE COLORIMETRIC METHOD

S.A. Nikolaev

wynaut@yandex.ru

SPIN-code: 4175-0993

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

### Abstract

*In forensic investigation practice the problem of defining the time sequence of written and printed texts application is essential in the cases when these texts do not have intersection regions. We suggest solving this problem by means of the metallographic examination of the documents specimens and the analysis of the obtained data colorimetric properties. The basis of the suggested method is a specific color change of the toner particles sprayed on a sheet of paper, covered with a paste layer and observed with a microscope in reflected light. The article presents experimental results for evaluating the colorimetric properties of the toner particle in the cases of written and printed texts application in different sequences. For both cases we have found out representative values of the color change.*

### Keywords

*Documents circulation, microscopical investigation, colorimetric methods, color differences, reflected light, colorimetric systems, colour space*

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

### References

- [1] Dosova A.V. Teoreticheskie i prakticheskie osobennosti kompleksnogo kriminalisticheskogo issledovaniya dokumentov s izmenennymi rekvizitami. Diss. kand. yurid. nauk [Theoretical and practical features of complex forensic processing of documents with changed requisites. Kand. jur. sci. diss.]. Volgograd, 2014, 233 p.
- [2] Michael J. Allen foundations of forensic document analysis: theory and practice. Wiley-Blackwell, 2015, 264 p.
- [3] Vodolazov A.V., Vashkevich N.A. Laser ablation and its scopes of application. *Voprosy kriminologii, kriminalistiki i sudebnoy ekspertizy*, no. 1(41), 2017, pp. 136–140.
- [4] Stepanov A.P. Some aspects of criminalistic examination of laser printing equipment and documents printed by it. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Astrakhan State Technical University], no. 5, 2007, pp. 199–202.
- [5] Judd D.B., Wyszecki G. Color in business, science, and industry. Wiley-Interscience, 1975, 576 p. (Russ. ed.: Tsvet v nauke i tekhnike. Moscow, Mir Publ., 1978, 592 p.)
- [6] Sharma G., Bala R. Digital color imaging handbook. CRC Press, 2003, 840 p.
- [7] Logvinenko A.D. The geometric structure of color. *Journal of Vision*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 1–9.
- [8] Fairchild M.D. Color appearance models. Wiley, 2005, 408 p.
- [9] Robertson A.R. Historical development of CIE recommended color difference equations. *Color Research & Application*, 1990, vol. 15, no. 3, pp. 167–170.
- [10] Colorimetry — Part 4: CIE 1976 L\*a\*b\* Colour Space. CIE Draft Standard. 2007. CIE, 12 p.



**Nikolaev S.A.** — student, Department of Laser and Optoelectronic Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Khorokhorov A.M., Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Scientist, Department of Laser and Optoelectronic Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.