

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ДОКУМЕНТООБОРОТА

С.А. Николаев

wynaut@yandex.ru

SPIN-код: 4175-0993

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

---

### Аннотация

Проведено исследование, целью которого является разработка пространственно-частотного метода определения временной последовательности нанесения рукописного и печатного текстов в случаях, когда указанные тексты не имеют областей пересечения. Поставленная цель достигается путем металлографического исследования образцов и анализа пространственно-частотных свойств полученных данных. Основанием предложенного метода является существенное изменение резкости изображений, получаемых при наблюдении с помощью микроскопа, при незначительной дефокусировке относительно частицы тонера. Показано, что интегральный спектр высоких пространственных частот в изображении, сфокусированном внутри слоя пасты или геля, в 2–3 раза превышает соответствующий спектр в изображении, сфокусированном вне этого слоя.

### Ключевые слова

Документоборот, микроскопия, пространственно-частотные методы, пространственный спектр, отраженный свет, глубина резкости, нормированный цвет, колориметрическая система RGB

Поступила в редакцию 03.04.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

---

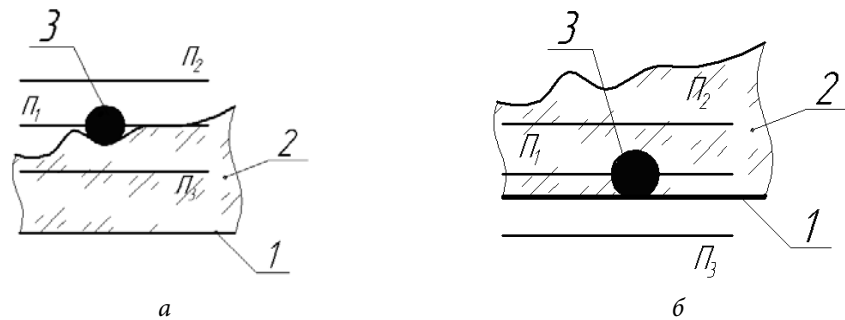
**Введение.** В практике судебных экспертиз часто возникает проблема определения временной последовательности процессов печати текста какого-либо документа и рукописной подписи документа или резолюции на него. Согласно сложившейся теории и практике делопроизводства, указанная выше временная последовательность считается законной. Случаи, когда эта последовательность становится обратной, часто имеют криминалистический характер и являются предметами судебных процессов [1, 2].

Указанная проблема становится тривиальной, если напечатанный текст и текст письма имеют области пересечения. Ее легко решить с помощью известных методов микроскопии, которые широко применяются в практике судебной экспертизы.

Целью проведенного исследования является разработка пространственно-частотного метода определения временной последовательности нанесения рукописного и печатного текстов в случаях, когда указанные тексты не имеют областей пересечения. Основанием для разработки этих методов является явление, обнаруживаемое при нанесении текстов: при печати текста на лазерном принтере на всей площади страницы выпадают частицы тонера размером 2...20 мкм [3], плотность распределения которых растет по мере увеличения срока службы принтера. В лю-

бом случае эта плотность является вполне достаточной для того, чтобы большое количество частиц оказалось над или под рукописным текстом в зависимости от исследуемой временной последовательности.

Использование пространственно-частотных методов для анализа структуры «паста — частица тонера». Рассмотрим метод определения взаимного положения частицы тонера и пасты на основе пространственно-частотного спектра изображения. Проиллюстрируем предлагаемый метод с помощью рис. 1.



**Рис. 1.** Схематическое изображение частицы тонера:

1 — поверхность подложки текста; 2 — слой пасты; 3 — частица тонера;  
а — на слое пасты; б — под слоем пасты

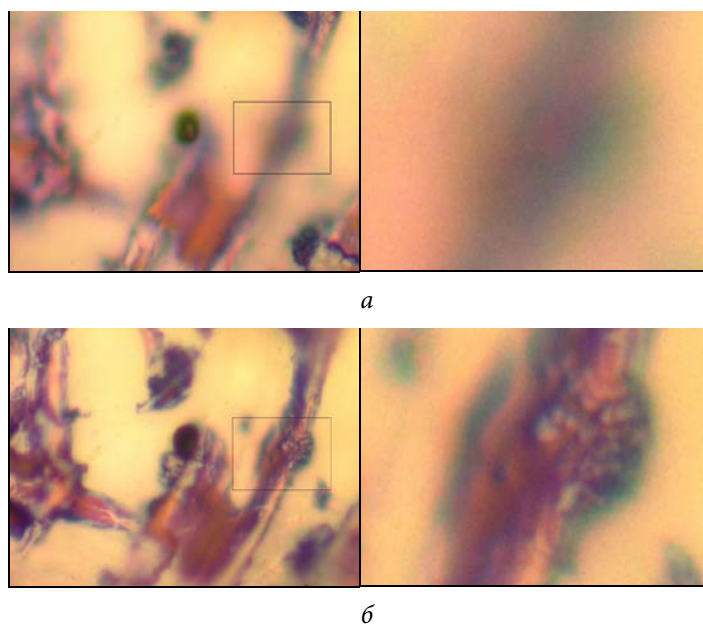
Прежде всего отметим, что глубина резкого изображения микроскопа  $\delta$  в основном определяется его дифракционной глубиной [4–6] и составляет

$$\delta = \frac{\lambda}{2A^2},$$

где  $A$  — числовая апертура объектива микроскопа;  $\lambda$  — длина волны света [7–10].

Следовательно, для объективов с большим увеличением и числовой апертурой  $A > 0,7$  глубина резкого изображения  $\delta \cong 0,5$  мкм. Это означает, что при наблюдении и регистрации изображения резко будет изображаться лишь небольшая область глубиной  $\delta$ , расположенная вблизи плоскости  $\Pi_1$ , т. е. частица тонера и некоторая часть поверхности пасты (рис. 1, а) или ее объема (рис. 1, б). Если частица находится на поверхности пасты, то при перефокусировке микроскопа на плоскость  $\Pi_3$  резко будет изображаться объем пасты, а поскольку последняя имеет ярко выраженный цветовой и амплитудный рельеф в поле зрения, пространственный спектр изображения в этой плоскости будет обогащаться в области высоких пространственных частот. Если же частица находится под слоем пасты, то при перефокусировке на плоскость  $\Pi_3$  пространственный спектр изображения в области высоких пространственных частот, наоборот, объединится, поскольку и частица и объем пасты будут находиться вне области резкого изображения. При перефокусировке микроскопа вверх на плоскость  $\Pi_2$  в случае, показанном на рис. 1, а, высокие пространственные частоты в изображении будут уменьшаться, а в другом случае (см. рис. 1, б) они будут возрастать.

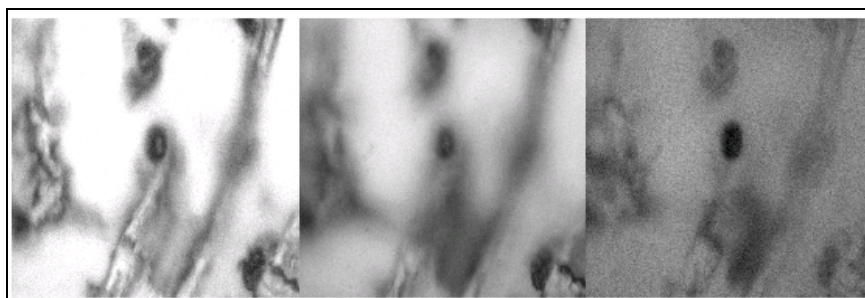
Все изложенное проиллюстрируем на конкретных примерах. На рис. 2 показаны два изображения частицы тонера в микроскопе, сфокусированном на плоскостях  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  соответственно, и увеличенные изображения выделенных участков. Увеличение микроскопа 800 крат, частица тонера находится сверху рукописного слоя пасты.



**Рис. 2.** Паста + тонер:

*a* — изображение плоскости  $\Pi_2$  и увеличенное изображение выделенного участка;  
*б* — изображение плоскости  $\Pi_3$  и увеличенное изображение выделенного участка

На рис. 3 в градациях серого представлено распределение интенсивности на участке, показанном на рис. 2, *a*, для трех цветовых каналов: красного (*R*), зеленого (*G*) и синего (*B*).



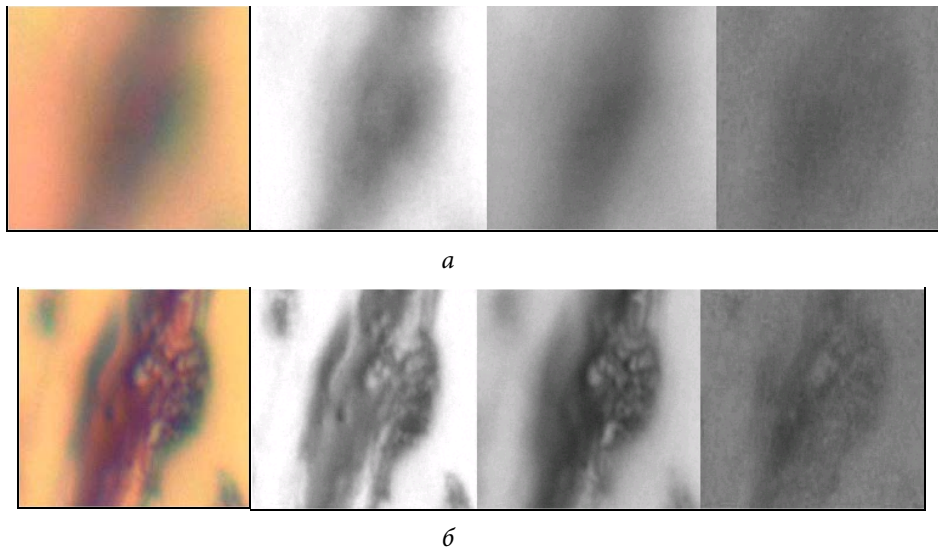
**Рис. 3.** Представление частицы тонера (см. рис. 2, *a*) в виде распределения интенсивности отдельных цветов (*слева направо*): красного (*R*), зеленого (*G*), синего (*B*)

В дальнейшем будем использовать также нормированный цвет *Q*, определяемый как

$$Q = \frac{R+G+B}{3},$$

где  $R, G, B$  — соответственно красные, зеленые и синие координаты цвета.

На рис. 4 также в градациях серого представлены изображения участков, выделенных на рис. 2, а, б.



**Рис. 4.** Изображения выделенных участков (см. рис. 2) в исходном виде (слева) и в виде распределения интенсивностей цветов  $R, G$  и  $B$  соответственно (справа) в плоскостях фокусировки (а)  $\Pi_2$ ; (б)  $\Pi_3$

Полутонные изображения в основных цветах и в цвете  $Q$  были подвергнуты дискретному преобразованию Фурье. Полученные пространственно-частотные спектры фрагментов представлены на рис. 5–8 в двух плоскостях фокусировки для нормированного цвета  $Q$  и для отдельных цветов  $R, G$  и  $B$  соответственно. Обозначенные на рисунках значения  $Sum$  представляют собой сумму амплитуд высокочастотных гармоник в диапазоне частот  $4 \dots 50$ .



**Рис. 5.** Пространственно-частотные спектры фрагмента для двух положений фокусировки и нормированного цвета  $Q$

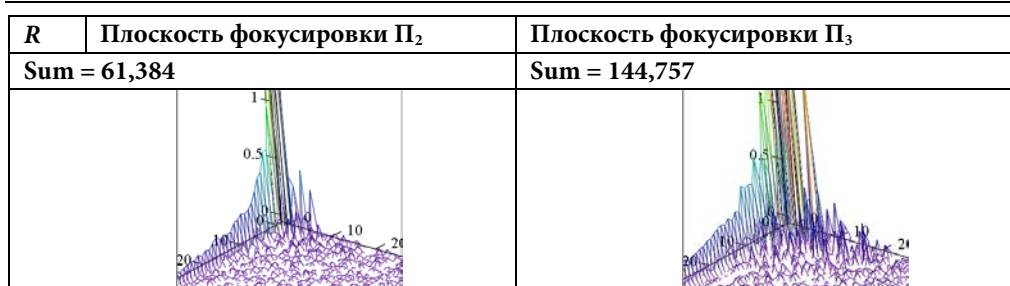


Рис. 6. Пространственно-частотные спектры фрагмента для двух положений фокусировки и координаты цвета  $R$

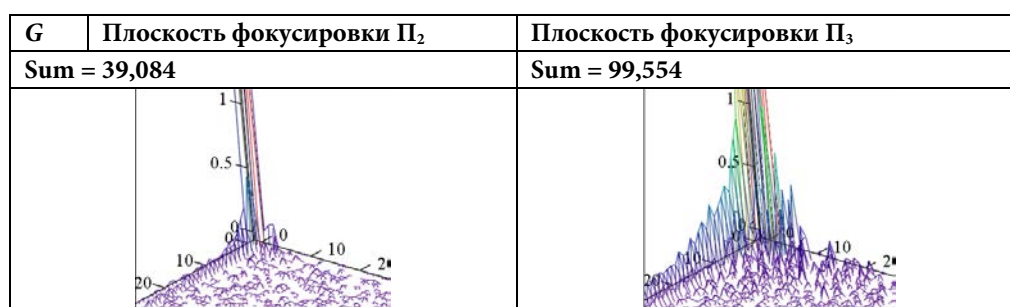


Рис. 7. Пространственно-частотные спектры фрагмента для двух положений фокусировки и координаты цвета  $G$

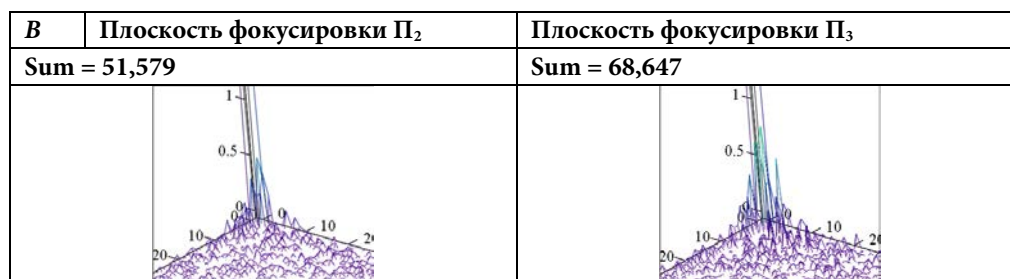


Рис. 8. Пространственно-частотные спектры фрагмента для двух положений фокусировки и координаты цвета  $B$

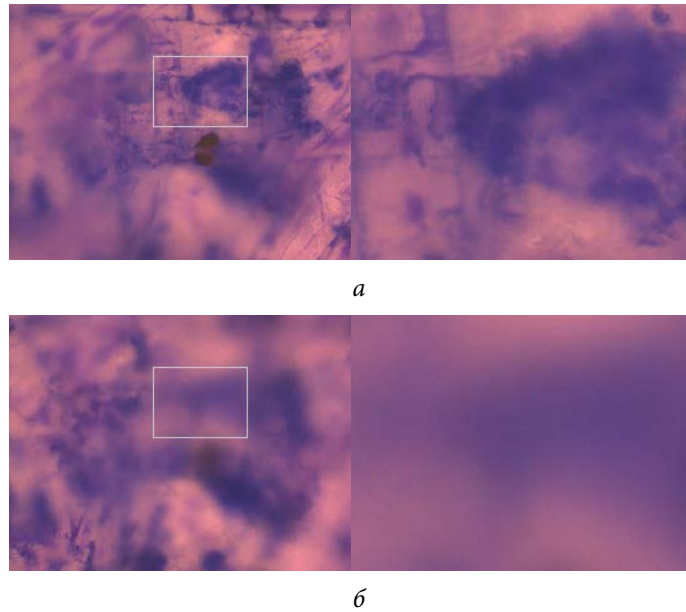
Для удобства значения Sum сведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения сум амплитуд высоких пространственных частот Sum

$\Sigma$	$Q$		$R$		$G$		$B$	
	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_2$	$\Pi_3$
Sum	41,42	87,353	61,384	144,757	39,084	99,554	51,579	68,647

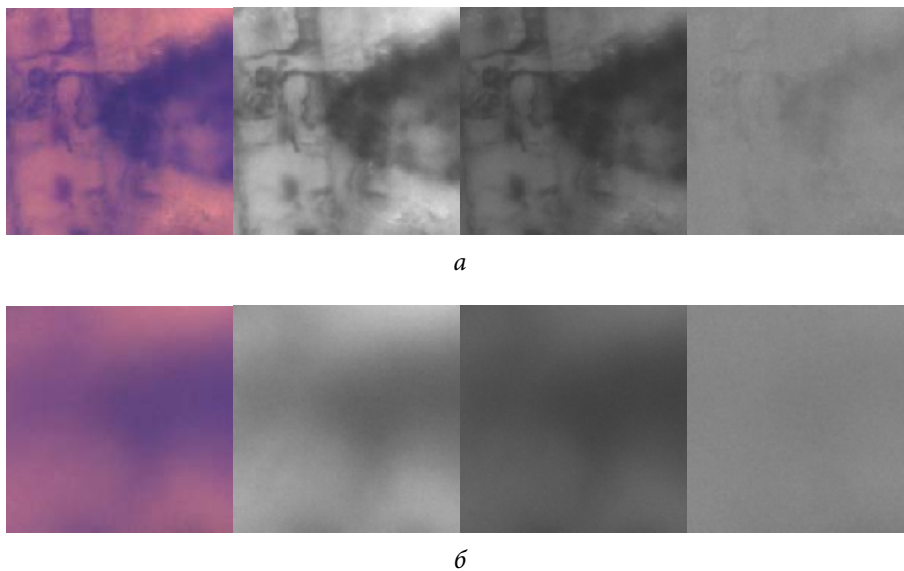
В следующем примере рассмотрим случай, когда частица тонера находится под рукописным слоем. На рис. 9 показаны два изображения частицы тонера в микроскопе, сфокусированном на плоскостях  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  соответственно, и увеличенные изображения выделенных участков. Увеличение микроскопа 500 крат.



**Рис. 9.** Паста + тонер:

*a* — изображение плоскости  $\Pi_2$  и увеличенное изображение выделенного участка;  
*б* — изображение плоскости  $\Pi_3$  и увеличенное изображение выделенного участка

На рис. 10 также в градациях серого представлены изображения участков, выделенных на рис. 9, *a*, *б*.



**Рис. 10.** Изображения выделенных участков (см. рис. 9) в исходном виде (*слева*) и в виде распределения интенсивностей цветов *R*, *G* и *B* соответственно (*справа*) в плоскостях фокусировки:

*a* —  $\Pi_2$ ; *б* —  $\Pi_3$

Аналогично предыдущему случаю, полутоновые изображения в основных цветах и цвете Q были подвергнуты дискретному преобразованию Фурье. Полученные пространственно-частотные спектры фрагментов представлены на рис. 11–14 в двух плоскостях фокусировки для нормированного цвета Q и для отдельных цветов R, G и B соответственно. Обозначенные на рисунках значения Sum представляют собой сумму амплитуд высокочастотных гармоник в диапазоне частот от 4 до 50.



Рис. 11. Пространственно-частотные спектры фрагмента для двух положений фокусировки и нормированного цвета Q



Рис. 12. Пространственно-частотные спектры фрагмента для двух положений фокусировки и координаты цвета R

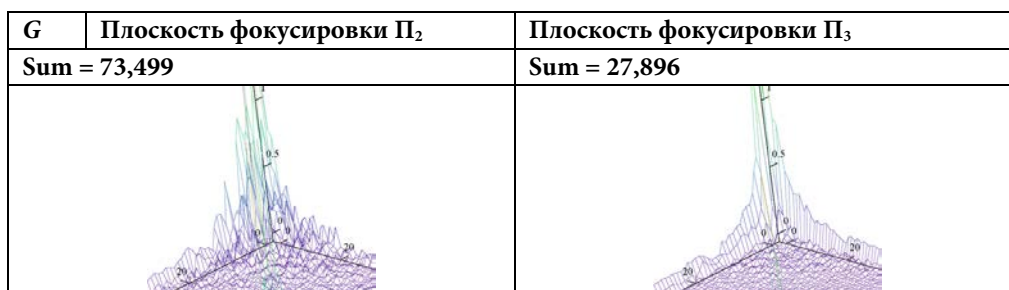


Рис. 13. Пространственно-частотные спектры фрагмента для двух положений фокусировки и координаты цвета G



Рис. 14. Пространственно-частотные спектры фрагмента для двух положений фокусировки и координаты цвета  $B$

Значения Sum сводим в табл. 2.

Таблица 2

Значения сумм амплитуд высоких пространственных частот Sum

$\Sigma$	$Q$		$R$		$G$		$B$	
	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_2$	$\Pi_3$
Sum	97,64	32,257	78,946	29,638	73,499	27,896	73,389	29,492

Как видно из представленных результатов двух экспериментов, выдвинутое ранее предположение подтверждается. Высокие частоты при фокусировке на плоскость  $\Pi_3$  в первом случае обогащаются: суммы их амплитуд намного больше, чем при фокусировке на плоскость  $\Pi_2$ , во втором случае результат обратный. На рис. 5–8, 11–14 и в табл. 1, 2, кроме того, видно, что отмеченная разность Sum минимальна для основного цвета  $B$ , поэтому в последующих экспериментах можно ограничиться приведением результатов только для цветов  $Q$  и  $R$ .

Представленные результаты доказывают перспективность предложенного метода определения взаимного положения частицы тонера и рукописного слоя паст и чернил. Наиболее ярко преимущества этого метода проявляются в случаях, когда частица тонера находится на рукописном слое. При нахождении частицы под слоем пасты ее бликующая наружная поверхность может оказаться фактором, несколько осложняющим применение метода.

**Заключение.** Разработан новый метод определения положения частицы тонера относительно рукописного слоя, основанный на исследовании пространственно-частотного спектра изображения, сфокусированного на частицу тонера, и двух изображений (того же поля зрения), расфокусированных на величину, превышающую глубину резкого изображения микроскопа. Показано, что интегральный спектр высоких пространственных частот в изображении, сфокусированном внутрь слоя пасты или геля, в 2–3 раза превышает соответствующий спектр в изображении, сфокусированном вне этого слоя.

Отмеченные результаты могут служить основанием для дальнейшей разработки методов и программного обеспечения для проведения экспертизы документов на определение 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. юр. наук. Волгоград, 2014, 233 с.
- [2] Allen M.J. *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*, 2017, № 1(41), с. 136–140.
- [4] Матвеев А.Н. *Оптика*. Москва, Высшая школа, 1985, 353 с.
- [5] Ахманов С.А., Никитин С.Ю. *Физическая оптика*. Москва, Изд-во МГУ, 2004, 656 с.
- [6] Панов В.А., Андреев Л.Н. *Оптика микроскопов. Расчет и проектирование*. Ленинград, Машиностроение, 1976, 432 с.
- [7] Seward G. *Optical design of microscopes*. SPIE Press, 2010, 258 p.
- [8] Чуриловский В.Н. *Теория оптических приборов*. Ленинград, Машиностроение, 1966, 564 с.
- [9] Заказнов Н.П., Кирюшин В.И., Кузичев В.И. *Теория оптических систем*. Москва, Машиностроение, 1992, 447 с.
- [10] Abramowitz M. *Microscope: basics and beyond*. Vol. 1. Olympus America Inc., 2003, 50 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, доцент кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

---

**SPATIAL-FREQUENCY METHOD OF DOCUMENT CONTROL**

S.A. Nikolaev

wynaut@yandex.ru

SPIN-code: 4175-0993

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

*The aim of our research is to develop a spatial-frequency method of determining the chronological sequence of plotting the hand-written and printed texts in the cases when the specified texts do not have intersection regions. The desired goal is achieved by means of metallographic examination of the samples and analyzing the spatial-frequency properties of the data received. The essence of the suggested method consists in changing the sharpness of the images obtained during the observation through the microscope under inessential defocusing with regard to the toner particle. It is shown that the integral spectrum of high spatial frequencies in the image focused inward the layer of the paste or gel in 2 or 3 times exceeds the corresponding spectrum in the image focused outward this layer.*

**Keywords**

*Document circulation, microscopy, spatial-frequency methods, spatial spectrum, reflected light, depth of focus, normalized light, RGB color measuring system*

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

---

**References**

- [1] Dosova A.V. Teoreticheskie i prakticheskie osobennosti kompleksnogo kriminalisticheskogo issledovaniya dokumentov s izmenennymi rekvizitami. Diss. kand. jur. nauk [Theoretical and practical features of complex forensic processing of documents with changed requisites. Cand. jur. sci. diss.]. Volgograd, 2014, 233 p.
- [2] Allen M.J. 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*, 2017, no. 1(41), pp. 136–140.
- [4] Matveev A.N. Optika [Optics]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1985, 353 p.
- [5] Akhmanov S.A., Nikitin S.Yu. Fizicheskaya optika [Physical optics]. Moscow, MSU publ., 2004, 656 p.
- [6] Panov V.A., Andreev L.N. Optika mikroskopov. Raschet i proektirovanie [Microscope optics. Calculation and design]. Leningrad, Mashinostroenie publ., 1976, 432 p.
- [7] Seward G. Optical design of microscopes. SPIE Press, 2010, 258 p.
- [8] Churilovskiy V.N. Teoriya opticheskikh priborov [Theory of optical devices]. Leningrad, Mashinostroenie publ., 1966, 564 p.
- [9] Zakaznov N.P., Kiryushin V.I., Kuzichev V.I. Teoriya opticheskikh system [Theory of optical systems]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1992, 447 p.
- [10] Abramowitz M. Microscope: basics and beyond. Vol. 1. Olympus America Inc., 2003, 50 p.

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

**Scientific advisor** — A.M. Khorokhorov, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.