

УДК 655.531

М. А. Зильберглейт, И. В. Марченко, О. А. Новосельская
Белорусский государственный технологический университет

АНАЛИЗ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ОФИСНЫХ БУМАГ

Статья посвящена экспериментальному исследованию внутренней структуры офисных бумаг. Микрогетерогенная структура бумаги является важнейшей характеристикой при получении печатных оттисков. Чересчур развитая микрогеометрия бумаги (пористая и шероховатая) воспринимает большее количество краски, что влияет на качество оттисков. Для описания структуры различных объектов, включая пористые среды, наряду с широко известными методами применяются показатель фрактальной размерности.

Для проведения фрактального анализа исследуемых образцов были получены микрофотографии участка бумаги в проходящем свете и преобразованы в цифровой формат. На их основе рассчитаны значения фрактальной размерности исследуемых бумаг с использованием расчетного метода box-counting. По результатам анализа четырех видов офисных бумаг массой 80 г/м² и форматом А4, относящихся к разным классам, установлено, что по показателю фрактальной размерности исследованные материалы ранжируются следующим образом: Снегурочка > Навигатор > Элита > IQ. Сделан вывод о возможности применения данного метода исследования для описания структуры офисных бумаг, а также использования в качестве оценки неоднородности просвета бумаги.

Ключевые слова: офисная бумага, шероховатость поверхности, фрактальная размерность, микроструктура бумаги, теория фракталов.

Для цитирования: Зильберглейт М. А., Марченко И. В., Новосельская О. А. Анализ внутренней структуры офисных бумаг // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатеchnологии. 2023. № 1 (267). С. 14–19. DOI: 10.52065/2520-6729-2023-267-1-2.

M. A. Zilbergleit, I. V. Marchenko, O. A. Novoselskaya
Belarusian State Technological University

ANALYSIS OF INTERNAL STRUCTURE OF OFFICE PAPERS

The article is devoted to an experimental study of the internal structure of office paper. The microheterogeneous structure of paper is the most important characteristic in the production of printed prints. The overly developed microgeometry of the paper (porous and rough) perceives a larger amount of paint, which affects the quality of the prints. To describe the structure of various objects, including porous media, along with well-known methods, a fractal dimension index is used.

For fractal analysis of the test samples, micrographs of the paper section in transmitted light were obtained and converted into digital format. Based on them, the values of the fractal dimension of the papers under study were calculated using the box-counting calculation method. Based on the results of analysis of four types of office papers with a weight of 80 g/m² and a A4 format belonging to different classes, it was established that according to the fractal dimension indicator, the studied materials are ranked as follows: Snow Maiden > Navigator > Elite > IQ. It was concluded that this research method can be used to describe the structure of office papers, as well as to use paper as an assessment of the heterogeneity of the lumen.

Keywords: office paper, surface roughness, fractal dimension, paper microstructure, fractal theory.

For citation: Zilbergleit M. A., Marchenko I. V., Novoselskaya O. A. Analysis of internal structure of office papers. *Proceedings of BSTU, issue 4, Print- and Mediatechnologies*, 2023, no. 1 (267), pp. 14–19. DOI: 10.52065/2520-6729-2023-267-1-2 (In Russian).

Введение. Бумага для печати – один из основных материалов полиграфической промышленности. От нее в большой степени зависит качество и себестоимость выпускаемой продукции [1].

Целлюлозно-бумажная промышленность выпускает более трехсот различных видов печатной

бумаги. Это объясняется тем, что к бумаге в зависимости от способа печати и вида продукции предъявляются разные требования.

Новые виды печати, такие, например, как струйная печать, требуют тщательного анализа качества бумаги, так как данная технология основана на взаимодействии бумаги с достаточно

маловязкой краской. Проникновение таких красок в неоднородные поры бумаги может вызвать как перерасход краски, так и понизить качество печати.

Бумаге необходимо иметь как можно более равномерную плотность, так как разница плотностей на различных участках листа свидетельствует о неравномерности толщины и вызывает проблемы с запечатыванием плашек.

Универсальную бумагу, свойства которой в одинаковой степени отвечали бы требованиям при печатании разнообразной полиграфической продукции всеми способами печати, создать невозможно.

Более пристальное внимание стало уделяться таким показателям качества бумаг, как неоднородность структурных свойств, шероховатость поверхности, пористость, глянец и т. п.

Возросшие требования к качеству бумаги обусловили и новые объективные методы и средства контроля. Многие в этой связи стало возможным и в бумажном производстве, и в полиграфии благодаря появлению систем технического зрения, широкому использованию денситометров, спектрофотометров и им подобных средств контроля качества бумаги и печати [2].

Десятки лет исследований были посвящены взаимодействию бумаги и краски в традиционных способах печати. В настоящее время вопросы прогнозирования качества печати для конкретной бумаги, для конкретного вида процесса печати и оборудования не решены.

Основная часть. Бумага для струйной печати имеет свои особенности, так как она изготавливается с применением сложных процессов, включающих осаждение структурно-неоднородного волокна на сетку бумагоделательной машины [3]. Поэтому бумага для струйных принтеров должна быть более плотной, однородной, гладкой по сравнению с бумагой для лазерного оборудования.

Структура бумаги неоднородна. Одним из возможных методов диагностики структур материалов является фрактальный анализ, позволяющий выявить определенные параметры состояния исследуемых материалов и дать им количественную характеристику [4].

В общем случае для определения фрактальной размерности изображения требуется произвести следующее построение: бинаризованное изображение по заданному пороговому значению покрывается элементарными R -мерными блоками с длиной ребра R и производится подсчет их числа $N(R)$. Фрактальная размерность (D) определяется затем из следующего соотношения:

$$N(R) \propto R^{-d}(R);$$

$$D = \lim_{R \rightarrow 0} \left(\frac{\ln N(R)}{\ln \left(\frac{1}{R} \right)} \right).$$

Далее в двойных логарифмических координатах строится зависимость $N(R)$, из которой, используя выражение, представленное ниже, по углу наклона определяется фрактальная размерность [5–7]:

$$D = - \frac{\Delta \ln N(R)}{\Delta \ln \left(\frac{1}{R} \right)}.$$

Такая характеристика удобна для определения степени хаотизации стохастических процессов при исследовании возникновения на их фоне регулярных структур [2].

Целью данной работы является исследование структурных свойств офисной бумаги и установление возможности применения величины фрактальной размерности для описания структуры ее поверхности.

В настоящее время офисная бумага делится на 4 класса: А, В, С, Д (ГОСТ Р 58106–2018) [8].

Класс А подразумевает под собой наивысшие показатели по всем характеристикам: непрозрачность, гладкость, белизна и другие свойства, которые делают этот тип бумаги самым лучшим и самым дорогим. Такой материал часто используется для высокого качества печати. Степень белизны по ГОСТ Р ИСО 11475–2010 – от 165%, по ГОСТ 30113–94 – от 110% и более, непрозрачность – от 93% и выше [9, 10].

Класс В – универсальный материал для всех видов печати за счет увеличенной плотности. Не такой дорогостоящий по сравнению с А и имеет хорошие показатели по свойствам. Средние показатели белизны для такой бумаги соответственно 150% / 105%.

Самый востребованный класс офисной бумаги из-за ее низкой стоимости в сравнении с другими – это бумага марки С. Обладая достойными характеристиками, она вполне подходит для ежедневной печати внутренних документов и другой простой печатной продукции. Характеризуется хорошей степенью белизны 138% / 99% для работ с невысокими требованиями к качеству бумаги.

Бумага марки Д предназначена для черно-белой печати на матричных принтерах [11].

Способ определения неоднородности микроструктуры поверхности бумаги с помощью фрактальной размерности поверхности позволяет получать в результате исследования поверхностных свойств бумаги единый показатель, отражающий характер микроповерхности.

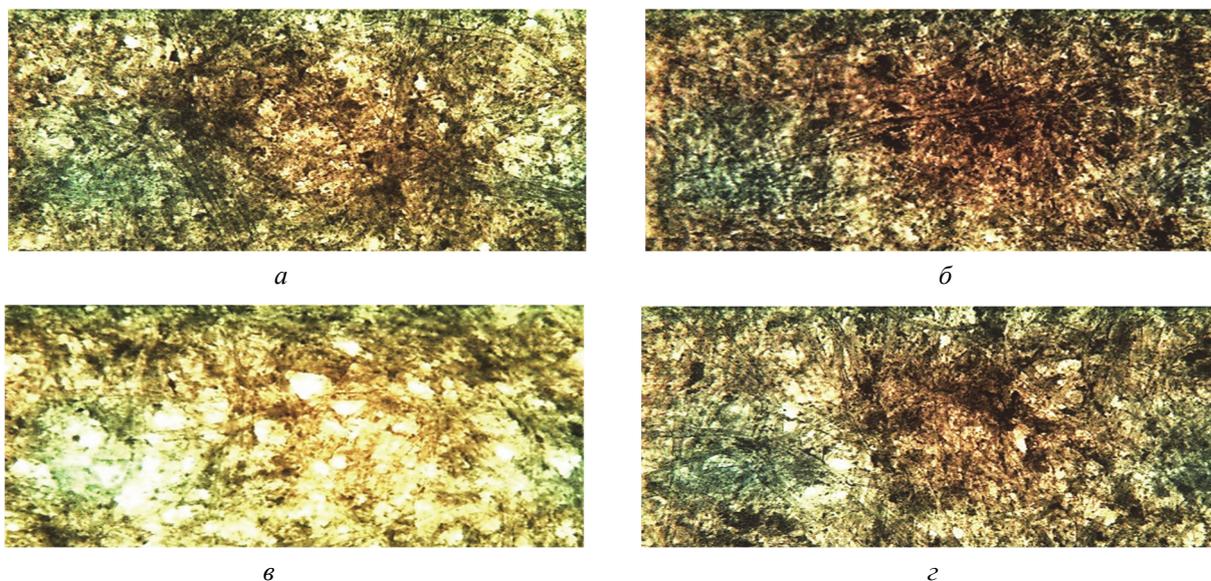


Рис. 1. Цифровое изображение бумаг:
 а – «Навигатор»; в – «Элита»; б – «IQ»; г – «Снегурочка»

Кроме того, фрактальная размерность поверхности позволяет учесть влияние пространственной развитости микропрофиля, что более точно характеризует поверхностно-пространственную структуру бумаги и ее печатные свойства. Использование показателя фрактальной размерности для описания поверхностных свойств бумаги целесообразно с точки зрения последующего использования в теории печатных процессов [12].

В работе исследовались по 7 образцов офисной бумаги массой 80 г/м², выпускаемой разными

производителями: класс А марки «Навигатор» и «Элита» и класс С марки «IQ» и «Снегурочка».

Для измерения использовали микроскоп «Альтами Био 2», позволяющий оцифровывать изображение (рис. 1) в проходящем свете, результаты обрабатывали с помощью программы *ImageJ* [13]. Размер областей и их число, необходимое для вписания всех бинарных объектов, отображается на log-log графике, а фрактальная размерность изображения соответствует углу наклона прямой на этом графике.

Анализ исследуемых бумаг приведен на рис. 2.

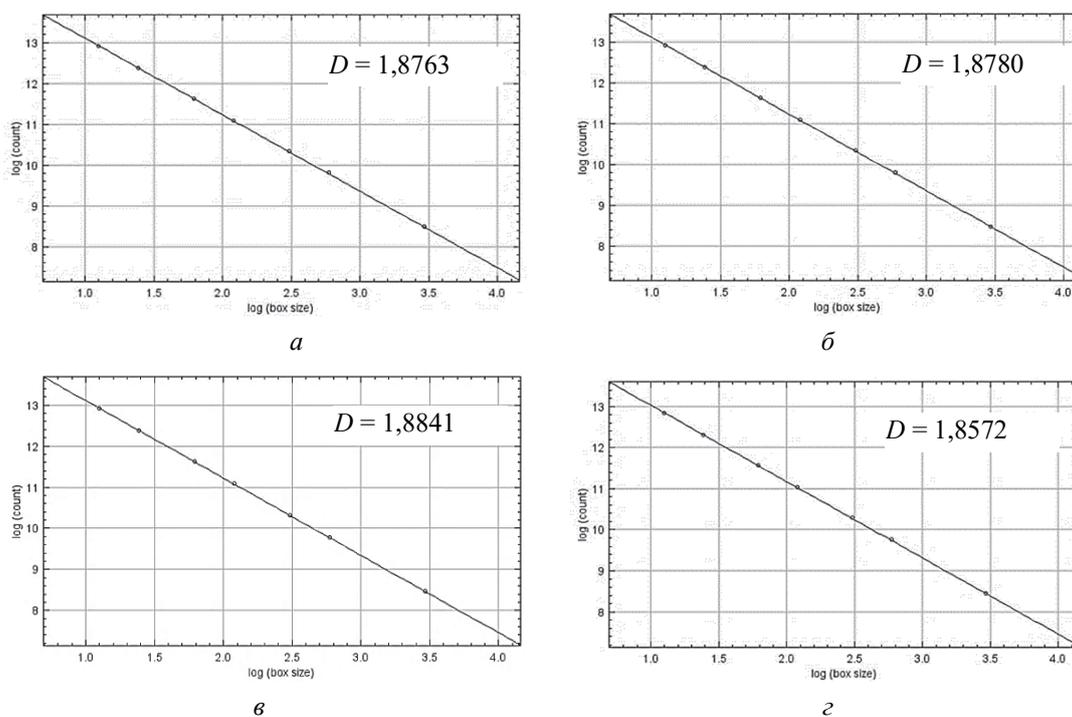


Рис. 2. Графики анализа размеров областей и их числа для офисных бумаг:
 а – «Навигатор»; в – «Элита»; б – «IQ»; г – «Снегурочка»

В табл. 1 приведены значения фрактальной размерности офисных бумаг.

Таблица 1
Значения фрактальной размерности
офисных бумаг

№ образца	«Навигатор»	«Элита»	«IQ»	«Снегурочка»
1	1,876	1,863	1,853	1,885
2	1,875	1,873	1,819	1,873
3	1,870	1,873	1,857	1,883
4	1,881	1,883	1,812	1,863
5	1,880	1,875	1,810	1,876
6	1,881	1,873	1,821	1,884
7	1,888	1,895	1,889	1,904

В табл. 2 представлены коэффициенты вариации по результатам обработки для четырех видов бумаг.

Таблица 2
Коэффициенты вариации по результатам
обработки семи параллельных определений
для четырех видов бумаг

Показатель	Бумага			
	«Навигатор»	«Элита»	«IQ»	«Снегурочка»
Среднее значение	1,879	1,876	1,837	1,881
Дисперсия	0,005	0,009	0,027	0,012
Коэффициент вариации, %	0,281	0,496	1,489	0,625

Проанализировав данные, представленные в таблице, мы видим, что фрактальная размерность для бумаги «Снегурочка» превосходит другие виды бумаг. Разница характера структуры исследуемых

видов бумаг показывает, что наименее развитой поверхностью обладает бумага марки «IQ» класса С. Далее идут более улучшенные виды бумаги класса А.

Очевидно, что значения коэффициента вариации соответствуют производственной классификации данных бумаг.

Интересно отметить, что в предыдущем исследовании, которое относится к термостарению ряда офисных бумаг, отмечается высокое качество бумаги «Снегурочка» по сравнению с другими офисными бумагами [14].

Заключение. Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод о том, что метод исследования бумаги на основе показателя фрактальной размерности позволяет выявить различие в поверхностной структуре офисных бумаг различных марок.

По данным анализа четырех видов офисных бумаг массой 80 г/м², относящихся к одному классу, установлено, что по показателю фрактальной размерности исследованные материалы формально ранжируются следующим образом: «Снегурочка» > «Навигатор» > «Элита» > «IQ». Однако для уровня значимости 5% эта градация не существенна. Куда более значимо различие коэффициентов вариации, что, на наш взгляд, может оказаться полезным для прогнозирования стабильности печатного процесса. Фрактальную размерность можно применять в качестве оценки неоднородности просвета бумаги.

Таким образом, использование фрактальной размерности в сочетании с оптическим способом, обеспечивающим точность и оперативность при проведении исследований, позволяет оценивать вклад структуры применяемых материалов и изучать полиграфические материалы с принципиально новой точки зрения [15].

Список литературы

1. Гудкова Т. И., Загаринская Л. А. Полиграфические материалы. М.: Книга, 1982. 220 с.
2. Леонтьев В. Н. Методы и средства совершенствования печатных свойств бумаг в системе «бумага – краска – оттиск». СПб.: ГОУВПО СПбГУРП, 2009. 170 с.
3. Фляте Д. М. Свойства бумаги. М.: Лесная пром-сть, 1970. 230 с.
4. Пояркова Е. В. Фрактальный анализ в диагностике структур материалов: методические указания. Оренбург: ОГУ, 2019. 47 с.
5. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Ин-т компьютерных исследований, 2002. 656 с.
6. Кулак М. И. Фрактальная механика материалов. Минск: Выш. шк., 2002. 304 с.
7. Латыпова Н. В. Фрактальный анализ: учеб. пособие. Ижевск: Удмурт. ун-т, 2020. 120 с.
8. Бумага для офисной техники: ГОСТ 58106–2018. Введ. 01.11.2018. М.: Стандартинформ, 2018. 10 с.
9. Бумага и картон. Метод определения белизны по СIE. D65/10° осветитель (дневной свет): ГОСТ Р ИСО 11475–2010. Введ. 01.01.2012. М.: Стандартинформ, 2011. 12 с.
10. Бумага и картон. Метод определения белизны: ГОСТ 30113-94. Введ. 01.01.1997. М.: Изд-во стандартов, 1996. 11 с.
11. Марченко И. В. Зильберглейт М. А., Камлюк Т. В. Оценка впитывающей способности офисных бумаг // Принттехнологии и медиакоммуникации: материалы 86-й науч.-техн. конф.

профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 янв. – 12 февр. 2022 г. Минск: БГТУ, 2022. С. 21–23.

12. Кулак М. И., Ничипорович С. А., Медяк Д. М. Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления. Минск: Беларус. навука, 2007. 419 с.

13. Конюхов А. Л. Руководство к использованию программного комплекса ImageJ для обработки изображений: учеб.-метод. пособие. Томск: ТУСУР, 2012. 105 с.

14. Оценка устойчивости показателей неоднородностей бумаг для полиграфии / М. А. Зильберглейт [и др.] // Полимерные материалы и технологии. 2021 Т. 7, № 4. С. 59–67.

15. Громько И. Г., Марченко И. В. Влияние структуры материалов на формирование адгезионного шва и когезионной прочности клеевого слоя в корешке блока // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатеchnологии. 2018. № 1 (207). С. 14–19.

References

1. Gudkova T. I., Zagarinskaya L. A. *Poligraficheskiye materialy* [Polygraphic materials]. Moscow, Kniga Publ., 1982. 220 p. (In Russian).

2. Leont'ev V. N. *Metody i sredstva sovershenstvovaniya pechatnykh svoystv bumag v sisteme «bumaga – kraska – ottisk»* [Methods and means of improving the printing properties of papers in the “paper – ink – impression” system]. St-Petersburg, GOUVPO SPbGURP Publ., 2009. 170 p. (In Russian).

3. Flyatti D. M. *Svoystva bumagi* [Paper Properties]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1970. 230 p. (In Russian).

4. Poyarkova E. V. *Fraktal'nyy analiz v diagnostike struktur materialov* [Fractal analysis in the diagnosis of material structures]. Orenburg, OGU Publ., 2019. 47 p. (In Russian).

5. Mandel'brot B. *Fraktal'naya geometriya prirody* [Fractal geometry of nature]. Moscow, Institut komp'yuternykh issledovaniy Publ., 2002. 656 p. (In Russian).

6. Kulak M. I. *Fraktal'naya mekhanika materialov* [Fractal mechanics of materials]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 2002. 304 p. (In Russian).

7. Latypova N. V. *Fraktal'nyy analiz* [Fractal analysis]. Izhevsk, Udmurtskiy universitet Publ., 2020. 120 p. (In Russian).

8. GOST 58106–2018. Paper for office equipment. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 10 p. (In Russian).

9. GOST R ISO 11475–2010. Paper and cardboard. Method for determining whiteness according to CIE. D65/10° illuminator (daylight). Moscow, Standartinform Publ., 2011. 12 p. (In Russian).

10. GOST 30113–94. Paper and cardboard. The method of determining whiteness. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1996. 11 p. (In Russian).

11. Marchenko, I. V., Zil'bergleyt M. A., Kamlyuk T. V. Assessment of the absorbency of office papers. *Printtehnologii i mediakommunikatsii: materialy 86-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Printtechnologies and Media communications: materials of the 86th Scientific and Technical Conference of faculty, researchers and Postgraduates]. Minsk, 2022, pp. 21–23 (In Russian).

12. Kulak M. I., Nychiporovich S. A., Medyak D. M. *Metody teorii fraktalov v tekhnologicheskoy mekhanike i protsessakh upravleniya: poligraficheskiye materialy i protsessy* [Methods of the theory of fractals in technological mechanics and control processes: printing materials and processes]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2007. 419 p. (In Russian).

13. Konyukhov A. L. *Rukovodstvo k ispol'zovaniyu programmnoy kompleksa ImageJ dlya obrabotki izobrazheniy* [Guidelines for using the ImageJ software package for image processing]. Tomsk, TUSUR Publ., 2012. 105 p. (In Russian).

14. Zil'bergleyt M. A., Marchenko I. V., Starchenko O. P., Nesterova S. V. Estimation of the stability indicators of inhomogeneity of paper for printing. *Polimernyye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 4, pp. 24–32 (In Russian).

15. Gromyko I. G., Marchenko I. V. The influence of the structure of materials on the formation of the adhesive seam and the cohesive strength of the adhesive layer in the spine of the block. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 4, Print- i mediatechnologii, 2018, no. 1 (207), pp. 14–19 (In Russian).

Информация об авторах

Зильберглейт Марк Аронович – доктор химических наук, профессор кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: mazi@list.ru

Марченко Ирина Валентиновна – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Marchenko_i_v@belstu.by

Новосельская Ольга Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и веб-дизайна. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nochka@tut.by

Information about the authors

Zilbergleit Mark Aronovich – DSc (Chemistry), Professor, Department of Inorganic Substances Technology and General Chemical Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Belarus). E-mail: mazi@list.ru

Marchenko Irina Valentinovna – Master of Engineering, Senior Lecturer, the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Marchenko_i_v@belstu.by

Novoselskaya Olga Aleksandrovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Informatics and Web Design. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nochka@tut.by

Поступила 15.01.2023