

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-4-24-32>

УДК 676.017.55:535.34

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕОДНОРОДНОСТИ БУМАГ ДЛЯ ПОЛИГРАФИИ

М. А. ЗИЛЬБЕРГЛЕЙТ<sup>+</sup>, И. В. МАРЧЕНКО, О. П. СТАРЧЕНКО, С. В. НЕСТЕРОВА

Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь

*Цель работы — исследование и сравнение ряда статистических показателей неоднородности бумаги.*

*Для оценки показателя просвет бумаги, который характеризует неравномерное распределение волокнистых компонентов и минеральных наполнителей в структуре бумаги, в качестве альтернативы использования приборов «Lorentzen & Wettre TSO-tester» и оптического анализатора «PTA-Line Formation Tester» предложено применить цифровой микроскоп, работающий в проходящем свете.*

*Рассмотрена модель неоднородности на примере модели «шахматная доска». Использование показателя фрактальная размерность неудовлетворительно описывает характеристику модели. Удовлетворительные результаты получены с использованием энтропии Шенона. Так, например, разброс значений для показателя фрактальная размерность колебался в пределах 1,75–1,93, и соответственно 1,028–1,833 для показателя энтропия Шенона.*

*Предложены три группы показателей, которые отражают различные стороны неравномерности покрытия поверхности флокулами или промоинами. Первая группа — среднеквадратичное отклонение, размах, количество оттенков серого. Вторая группа — отклонение центра масс от геометрического среднего. Третья группа — энтропия Шенона, количество и/или размер участков, принимаемых за флокулы (промоины).*

*На примере образцов бумаги класса С — Снегурочка, Svetocopy, Economy — с использованием микроскопа «Альтами БИО2» проанализирована однородность образцов этих бумаг. В качестве показателей для анализа были выбраны: среднеквадратичное отклонение яркости, энтропия по Шенону, индекс формования, фрактальная размерность, занятая флокулами площадь, отклонение от геометрического центра масс, количество оттенков серого, разность между максимальным и минимальным значением оттенков серого. Оценена чувствительность этих показателей на выбранных бумагах. Наибольшую чувствительность показал параметр отклонение центра масс от геометрического центра, характеризующийся коэффициентом вариации равным 21,9–43,1%. Значение для вариации среднеквадратичного отклонения яркости составило 12,9–13,1%. Вариации остальных показателей менее значительны.*

*Результаты работы могут быть использованы для разработки количественного метода оценки неоднородности бумаги.*

**Ключевые слова:** неоднородность бумаги, оптический метод, модель «шахматная доска», классификация показателей неоднородности, устойчивость показателей, офисные бумаги.

## ESTIMATION OF THE STABILITY INDICATORS OF UNHOMOGENEITY OF PAPER FOR PRINTING

M. A. ZILBERGLEIT<sup>+</sup>, I. V. MARCHENKO, O. P. STARCHENKO, S. V. NESTEROVA

Belarusian State Technological University, Sverdlov St., 13a, 220006, Minsk, Belarus

<sup>+</sup>Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: mazi@list.ru

The purpose of this work is to study and compare a number of statistical indicators of paper heterogeneity.

To assess the paper lumen index, which characterizes the uneven distribution of fibrous components in the structure of paper (cardboard), it was proposed to use a digital microscope as an alternative to using the “Lorentzen & Wettre TSO-tester” devices and the PTA-Line Formation Tester optical analyzer, working in transmitted light.

The model of inhomogeneity is considered on the example of the “checkerboard” model. The use of the indicator fractal dimension does not satisfactorily describe the characteristics of the model. Satisfactory results were obtained using the Shannon entropy. So, for example, the scatter of values for the fractal dimension indicator fluctuated within 1.75–1.93, and, accordingly, 1.028–1.833 for the Chenon entropy exponent.

Three groups of indicators have been proposed, which reflect different sides of the unevenness of the surface coverage by floccules or scours. The first group — standard deviation, span, number of shades of gray. The second group is the deviation of the center of mass from the geometric mean. The third group is the Chenon entropy, the number and/or size of areas taken for floccules (gullies).

On the example of paper samples of class C — Snegurochka, Svetocopy, Economy — using the microscope “Altami BIO2” analyzed the heterogeneity of the samples of these papers. The following parameters were chosen for the analysis: standard deviation of brightness, Chenon entropy, molding index, fractal dimension, area occupied by floccules, deviation from the geometric center of mass, number of shades of gray, the difference between the maximum and minimum values of shades of gray. The sensitivity of these indicators on the selected securities is estimated. The greatest sensitivity was shown by the parameter deviation of the center of mass from the geometric center — 21.9–43.1%. The value for the variation of the standard deviation of brightness was 12.9–13.1%. Variations in other indicators are less significant.

The results of the work can be used to develop a quantitative method for evaluating paper heterogeneity.

**Keywords:** paper unhomogeneity, optical method, “checkerboard” model, classification of indicators of heterogeneity, stability of indicators, office paper.

Поступила в редакцию 11.06.2021

© М. А. Зильберглейт, И. В. Марченко, О. П. Старченко, С. В. Нестерова, 2021

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)  
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь  
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus  
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: [polmattex@gmail.com](mailto:polmattex@gmail.com)  
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

#### Образец цитирования:

Зильберглейт М. А., Марченко И. В., Старченко О. П., Нестерова С. В. Оценка устойчивости показателей неоднородности бумаг для полиграфии // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 4. С. 24–32. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-4-24-32>

#### Citation sample:

Zil'bergleyt M. A., Marchenko I. V., Starchenko O. P., Nesterova S. V. Otsenka ustoychivosti pokazateley neodnorodnosti bumag dlya poligrafii [Estimation of the stability indicators of unhomogeneity of paper for printing]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 4, pp. 24–32. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-4-24-32>

## Литература

1. Герасюта С. М., Смолин А. С., Иванова Е. И., Каневская В. С. Исследование коэффициента вариации и среднего размера неоднородности для различных типов бумаги на анализаторе просвета АП-2 // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. Вып. 217. С. 238–247. doi: 10.21266/2079-4304.2016.217.238-247
2. А. с. 1794247 СССР, МПК G 01 N 21/89. Способ определения стандартизованных показателей неоднородности просвета бумаги / Б. В. Галактионов, Ю. П. Сырников, Е. И. Иванова, И. А. Ферсман. N 4795249/25; заявл. 26.02.90; опубл. 07.02.93, Бюл. N 5. 5 с.
3. А. с. 119002 СССР, МПК G 01 J 1/16, G 01 N 33/34. Способ определения облачности бумаги и т.п. изделий и прибор для осуществления этого способа / С. П. Крозер. N 601728/29; заявл. 13.06.58; опубл. 01.01.59, Бюл. N 7. 3 с.
4. Абрамова В. В., Гурьев А. В. Оценка равномерности формирования макроструктуры офисной бумаги // Известия вузов. Лесной журнал. 2017. № 4. С. 172–186. doi: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.172.
5. Bernié J. P., Murray Douglas W. J. Local grammage distribution and formation of paper by light transmission image analysis // Tappi Journal, 1996, vol. 79, no. 1, pp. 193–202.
6. Bouydaïn M., Colom J. F., Navarro R., Pladellorens J. Determination of paper formation by Fourier analysis of light transmission images // Appita journal, 2001, vol. 54, no. 2, pp. 103–106.
7. Characterization of Clocks and Oscillators / eds.: Sullivan D. B., Allan D. W., Howe D. A., Walls F. L. Washington : U. S. government printing office, 1990. 352 p.
8. Lehmann M., Eisengraber-Pabst J., Ohser J., Moghiseh A. Characterization of the formation of filter paper using the bartlett spectrum of the fiber structure // Image Analysis & Stereology, 2013, vol. 32, no. 2, pp. 77–87. doi: 10.5566/ias.v32.p77-87
9. Остапчук А. К., Михалычев А. Г., Кузнецова Е. М. Оценка процесса выглаживания для обеспечения оптимальной шероховатости поверхности катания с использованием детерминированного хаоса // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2015. № 3. С. 111–128.
10. Осипов С. П., Подшивалов И. И., Осипов О. С., Алибекова А. А., Чесноков Д. В. Способ оценки площади оптической неоднородности на основе анализа цифровых изображений // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 3. С. 103–112.
11. Кулак М. И., Пиотух И. Г., Позднев Г. Н. Фрактальный подход к описанию микроструктуры печатной бумаги // Квалилогия книги: сб. науч. работ. Львов, 1998. С. 24–25.
12. Кулак М. И. Фрактальная механика материалов. Минск : Вышэйшая школа, 2002. 304 с.
13. Пиотух И. Г., Кулак М. И., Боброва О. П. Влияние фрактальных особенностей структуры на физико-механические свойства печатной бумаги // Труды БГУ. Физико-математические науки и информатика. 2000. Вып. 8. С. 73–81.
14. Пиотух И. Г. Влияние фрактальной структуры поверхностей печатного контакта на процесс переноса краски: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. Минск, 2003. 20 с.
15. Медведева О. И. Управление качеством обработанной поверхности при резании на основе искусственного интеллекта: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. Комсомольск-на-Амуре, 2002. 175 с.
16. Коржавская Н. В., Попов В. К. Применение теории фракталов для оценки структурной неоднородности бумажного полотна // Известия вузов. Лесной журнал. 2007. № 6. С. 115–119.
17. Дунаев Д. В. Системный подход к обеспечению требуемых печатных свойств бумаги на основе информации о качестве печати: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03; 05.13.01. СПб, 2006. 145 с.
18. Бобров В. И., Варепо Л. Г., Голунов А. В. Применение теории фракталов для описания и моделирования поверхности печатных материалов // Вестник МГУП. 2010. № 6. С. 76–81.
19. Голунов А. В., Варепо Л. Г., Ихлазов С. З. К вопросу оценки неоднородности поверхности материалов для печати // Известия ВУЗов. Северо-кавказский регион. Технические науки. 2011. № 6. С. 132–135.
20. Кудря А. В., Соколовская Э. А., Ахмедова Т. Ш., Пережогин В. Ю. Информативность морфологии структур твердых сплавов для прогноза качества наплавов // Цветные металлы, 2017. № 12. С. 78–83.
21. Кудря А. В., Соколовская Э. А., Пережогин В. Ю., Ахмедова Т. Ш., Васильев С. Г. Использование компьютеризированных процедур для оценки неоднородности структур твердых сплавов // Metallurg. 2016. № 12. С. 77–80.
22. Пережогин В. Ю. Оценка факторов, определяющих воспроизводимость результатов цифровых измерений структур в сталях и сплавах: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01. М., 2020. 235 с.
23. Викторов А. С. Математическая морфология ландшафта. М. : Тратек, 1998. 191 с.
24. Дроздов Д. С. Информационно-картографическое моделирование природно-техногенных сред в геокриологии: автореф. дис. ... доктора геолого-минералогических наук: 25.00.36. Тюмень, 2004. 49 с.
25. Ивашутина Л. И., Николаев В. А. К анализу ландшафтной структуры физико-географических регионов // Вестник МГУ. География. 1969. № 4. С. 49–59.
26. Кузнецов П. Ю. Оценка пространственной изменчивости свойств массива горных пород для оптимизации сети инженерно-геологических скважин при разведке угольных месторождений: на примере Эльгинского месторождения: автореф. дис. ... канд. геолого-минералогических наук: 25.00.16. Томск, 2005. 24 с.
27. Белоглазов В. И., Гурьев А. В., Комаров В. И. Анизотропия деформативности и прочности тарного картона и методы ее оценки. Архангельск : АГТУ, 2005. 252 с.
28. Казаков Я. В., Зеленова С. В., Комаров В. И. Влияние неоднородности структуры на характеристики жесткости картонов-лайнеров // Известия вузов. Лесной журнал. 2007. № 3. С. 110–120.
29. Линдблад Г., Юха Ю. С. Настройка БДМ для оптимизации прочностных свойств картона для плоских слоев гофрированного картона и бумаги для гофрирования с помощью анализа на TSO тестере // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы I Международной научно-технической конференции (Архангельск, 13–17 сентября 2011 г.). Архангельск, 2011. С. 78–87.
30. Lindblad G., Fürst T. The Ultrasonic Measuring Technology on Paper and Board. Sweden : Lorentzen and Wettre, 2001. 100 p.
31. 2D FSensor – Lab formation Sensor // Techpap. Innovation for paper [Электронный ресурс]. URL: <http://www.techpap.com/lab-formation-sensor,lab-device,6.html> (дата обращения: 18.03.2021).
32. Николаев Е. С. Влияние процессов массоподготовки и формирования на равномерность макроструктуры бумаги: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03. СПб., 2015. 184 с.
33. Комаров В. И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск, 2002. 440 с.
34. Щербанос С. А. Программная реализация построения фрактального ряда и определения его показателя Херста : бакалаврская работа: 01.03.02. Тольятти, 2018. 43 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://dspace.tltsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/7878/Щербанос%20С.А.\\_ПМИб-1402.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.tltsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/7878/Щербанос%20С.А._ПМИб-1402.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (дата обращения: 28.01.2021).
35. Фрактальная размерность // Википедия [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Фрактальная\\_размерность](https://ru.wikipedia.org/wiki/Фрактальная_размерность) (дата обращения: ...)

ния: 28.01.2021).

36. Apostolescu N., Baran D. Algorithm and code for analyzing hyperspectral images using the Hurst exponent // INCAS Bulletin, 2014, vol. 6, is. 3, pp. 3–11. doi: 10.13111/2066-8201.2014.6.3.1
37. Зильберглейт М. А., Вашук В. В., Кузнецова Т. Ф., Сычева О. А., Будейко Н. Л., Маевская О. И., Шевчук М. О., Нестерова С. В., Чубис П. А. Сравнительная оценка устойчивости к старению офисных бумаг различных производителей // Известия вузов. Проблемы полиграфии и издательского дела, 2016. №3. С. 16–27.

## References

1. Gerasyuta S. M., Smolin A. S., Ivanova E. I., Kanevskaya V. S. Issledovanie koeffitsi-enta variatsii i srednego razmera neodnorodnosti dlya razlichnykh tipov bumagi na anali-zatore prosveta AP-2 [Investigation of the coefficient of variation and the average size of inhomogeneity for various types of paper on the AP-2 lumen analyzer]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii], 2016, is. 217, pp. 238–247. doi: 10.21266/2079-4304.2016.217.238–247
2. Galaktionov B. V., Syrnikov Yu. P., Ivanova E. I., Fersman I. A. Sposob opredeleniya standartizovannykh pokazateley neodnorodnosti prosveta bumagi [Method for determination of standardized indicators of non-uniformity of paper clearance]. Patent SU, no. 1794247, 1993.
3. Krozer S. P. Sposob opredeleniya oblachnosti bumagi i t.p. izdeliy i pribor dlya osushchestvleniya etogo sposoba [A method for detecting cloudiness of paper, etc. products and a device for implementing this method]. Patent US, no. 119002, 1959.
4. Abramova V. V., Gur'ev A. V. Otsenka ravnomernosti formovaniya makrostruktury ofisnoy bumagi [Evaluation of the uniformity of forming the macrostructure of office paper]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [Proceedings of Universities. Forest Journal], 2017, no. 4, pp. 172–186. doi: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.172.
5. Bernié J. P., Murray Douglas W. J. Local grammage distribution and formation of paper by light transmission image analysis. *Tappi Journal*, 1996, vol. 79, no. 1, pp. 193–202.
6. Bouydaïn M., Colom J. F., Navarro R., Pladellourens J. Determination of paper formation by Fourier analysis of light transmission images. *Appita journal*, 2001, vol. 54, no. 2, pp. 103–106.
7. *Characterization of Clocks and Oscillators*. Eds.: Sullivan D. B., Allan D. W., Howe D. A., Walls F. L. Washington : U. S. government printing office, 1990. 352 p.
8. Lehmann M., Eisengraber-Pabst J., Ohser J., Moghiseh A. Characterization of the formation of filter paper using the bartlett spectrum of the fiber structure. *Image Analysis & Stereology*, 2013, vol. 32, no. 2, pp. 77–87. doi: 10.5566/ias.v32.p77–87
9. Ostapchuk A. K., Mikhailishchev A. G., Kuznetsova E. M. Otsenka protsessa vyglazhivaniya dlya obespecheniya optimal'noy shero-khovatosti poverkhnosti kataniya s ispol'zovaniem determinirovannogo khaosa [Evaluation of the smoothing process to ensure optimal roughness of the rolling surface using deterministic chaos]. Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya [Transport. Transport facilities. Ecology], 2015, no. 3, pp. 111–128.
10. Osipov S. P., Podshivalov I. I., Osipov O. S., Alibekova A. A., Chesnokov D. V. Sposob otsenki ploshchadi opticheskoy neodnorodnosti na osnove analiza tsifrovyykh izobrazheniy [Method for estimating the area of optical inhomogeneity based on the analysis of digital images]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2015, no 3, pp. 103–112.
11. Kulak M. I., Piotukh I. G., Pozdnev G. N. Fraktal'nyy podkhod k opisaniyu mikrostruktury pechatnoy bumagi [Fractal approach to describing the microstructure of printing paper]. *Kvalitologiya knigi* [Quality of the book]. L'vov, 1998, pp. 24–25.
12. Kulak M.I. *Fraktal'naya mekhanika materialov* [Fractal Material Mechanics]. Minsk: Vysheyschaya shkola Publ., 2002. 304 p.
13. Piotukh I. G., Kulak M. I., Bobrova O. P. Vliyaniye fraktal'nykh osobennostey struktury na fiziko-mekhanicheskie svoystva pechatnoy bumagi [Influence of fractal features of the structure on the physical and mechanical properties of printing paper]. *Trudy BGTU: Fiziko-matematicheskije nauki i informatika* [Proceedings of the BSTU: Physical and mathematical sciences and computer science], 2000, is. 8, pp. 73–81.
14. Piotukh I. G. Vliyaniye fraktal'noy struktury poverkhnostey pechatnogo kontakta na protsess perenosa kraski. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Influence of the fractal structure of printed contact surfaces on the ink transfer process. PhD eng. sci. diss. abstract]. Minsk, 2003. 20 p.
15. Medvedeva O. I. Upravleniye kachestvom obrabotannoy poverkhnosti pri rezanii na osnove iskusstvennogo intellekta. Diss. kand. tekhn. nauk [Artificial Intelligence Based Cutting Surface Quality Control. PhD eng. sci. diss.]. Komsomol'sk-na-Amure, 2002. 175 p.
16. Koryakovskaya N. V., Popov V. K. Primeneniye teorii fraktalov dlya otsenki strukturnoy neodnorodnosti bumazhnogo polotna [Application of the theory of fractals to assess the structural heterogeneity of the paper web]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [Proceedings of Universities. Forest Journal], 2007, no 6, pp. 115–119.
17. Dunaev D. V. Sistemnyy podkhod k obespecheniyu trebuemykh pechatnykh svoystv bumagi na osnove informatsii o kachestve pechaty. Diss. kand. tekhn. nauk [A systematic approach to ensuring the required printability of paper based on information about print quality. PhD eng. sci. diss.]. Saint-Petersburg, 2006. 145 p.
18. Bobrov V. I. Primeneniye teorii fraktalov dlya opisaniya i modelirovaniya poverkhnosti pechatnykh materialov [Application of the theory of fractals for describing and modeling the surface of printed materials]. *Vestnik MGUP* [Bulletin of Moscow State University of Printing Arts], 2010, no. 6, pp. 76–81.
19. Golunov A. V., Varepo L. G., Ikhilazov S. Z. K voprosu otsenki neodnorodnosti poverkhnosti materialov dlya pechaty [To the question of assessing the surface heterogeneity of materials for printing]. *Izvestiya vuzov. Severo-kavkazskiy region. Tekhnicheskije nauki* [Proceedings of Universities. North Caucasian Region. Technical science], 2011, no. 6, pp. 132–135.
20. Kudrya A. V., Sokolovskaya E. A., Akhmedova T. Sh., Perezhogin V. Yu. Informativnost' morfologii struktur tverdykh splavov dlya prognoza kachestva naplavok [Informativity value of the morphology of hard alloy structures for predicting the quality of surfacing]. *Tsvetnyye metally* [Non-ferrous metals], 2017, no. 12, pp. 78–83.
21. Kudrya A. V., Sokolovskaya E. A., Perezhogin V. Yu., Akhmedova T. Sh., Vasil'ev S. G. Is-pol'zovaniye komp'yuterizirovannykh protsedur dlya otsenki neodnorodnosti struktur tverdykh splavov [Using computerized procedures to assess the heterogeneity of cemented carbide structures]. *Metallurg* [Metallurgist], 2016, no. 12, pp. 77–80.
22. Perezhogin V. Yu. Otsenka faktorov, opredelyayushchikh vosproizvodimost' rezul'tatov tsifrovyykh izmereniy struktur v stalyakh i splavakh. Diss. kand. tekhn. nauk [Assessment of the factors that determine the reproducibility of the results of digital measurements of structures in steels and alloys. PhD eng. sci. diss.]. Moscow, 2020. 235 p.
23. Viktorov A. S. *Matematicheskaya morfologiya landshafta* [Mathematical morphology of the landscape]. Moscow : Tratek Publ., 1998. 191 p.
24. Drozdov D. S. Informatsionno-kartograficheskoe modelirovaniye prirodno-tekhnogennykh sred v geokriologii. Avtoref. diss. dokt. geol.-mineralog. nauk [Information-cartographic modeling of natural and technogenic environments in geocryology. Dr. geol. sci. diss. abstract]. Tyumen', 2004. 49 p.

25. Ivashutina L. I., Nikolaev V. A. K analizu landshaftnoy struktury fiziko-geograficheskikh regionov [On the analysis of the landscape structure of physical and geographical regions]. Vestnik MGU. Geografiya [Bulletin of Moscow State University. Geography], 1969, no. 4, pp. 49–59.
  26. Kuznetsov P. Yu. Otsenka prostranstvennoy izmenchivosti svoystv massiva gornykh porod dlya optimizatsii seti inzhenerno-geologicheskikh skvazhin pri razvedke ugol'nykh me-storozhdeniy: na primere El'ginskogo mestorozhdeniya. Avtoref. diss. kand. geol.-mineralog. nauk [Assessment of the spatial variability of the properties of the rock mass for the optimization of the network of engineering-geological wells in the exploration of coal deposits: for example, the Egl'a deposit. PhD geol. sci. diss. abstract]. Tomsk, 2005. 24 p.
  27. Beloglazov V. I., Gur'ev A. V., Komarov V. I. Anizotropiya deformativnosti i prochnosti tarnogo kartona i metody ee otsenki [Anisotropy of deformability and strength of containerboard and methods for its assessment]. Arkhangel'sk : AGTU Publ., 2005. 252 p.
  28. Kazakov Ya. V., Zelenova S. V., Komarov V. I. Vliyaniye neodnorodnosti struktury na kharakteristiki zhestkosti kartonov-laynerov [Influence of structure heterogeneity on the stiffness characteristics of cardboard liners]. Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal [Proceedings of Universities. Forest Journal], 2007, no. 3, pp. 110–120.
  29. Lindblad G., Yukha Yu. S. Nastroyka BDM dlya optimizatsii prochnostnykh svoystv kar-tona dlya ploskikh sloev gofrirovannogo kartona i bumagi dlya gofrirovaniya s pomoshch'yu analiza na TSO testere [PM tuning to optimize paperboard strength properties for flat layers of corrugated board and corrugated paper using TSO analysis]. Materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov» [Proceedings of the I International Scientific and Technical Conference “Problems of mechanics of pulp and paper materials”]. Arkhangel'sk, 2011, pp. 78–87.
  30. Lindblad G., Fürst T. *The Ultrasonic Measuring Technology on Paper and Board*. Sweden : Lorentzen and Wettre, 2001. 100 p.
  31. 2D FSensor – Lab formation Sensor. Available at: <http://www.techpap.com/lab-formation-sensor,lab-device,6.html> (accessed 18 March 2021).
  32. Nikolaev E. S. Vliyaniye protsessov massopodgotovki i formovaniya na ravnomernost' makrostruktury bumagi. Diss. kand. tekhn. nauk [Influence of the processes of stock preparation and forming on the uniformity of the paper macrostructure. PhD eng. sci. diss.]. Saint-Petersburg, 2015. 184 p.
  33. Komarov V. I. Deformatsiya i razrusheniye voloknistykh tsellyulozno-bumazhnykh materialov [Deformation and destruction of fibrous pulp and paper materials]. Arkhangel'sk, 2002. 440 p.
  34. Shcherbonos S. A. Programmnaya realizatsiya postroeniya fraktal'nogo ryada i opredeleniya ego pokazatelya Khersta: bakalavrskaya rabota [Software implementation of constructing a fractal series and determining its Hurst exponent. Bachelor's work]. Tol'yatti, 2018. 143 p. Available at: [https://dspace.tltsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/7878/Щербонос%20С.А.\\_ПМИБ-1402.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.tltsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/7878/Щербонос%20С.А._ПМИБ-1402.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (accessed 28 January 2021).
  35. Fraktal'naya razmernost' [Fractal dimension]. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Фрактальная\\_размерность](https://ru.wikipedia.org/wiki/Фрактальная_размерность) (accessed 28 January 2021).
  36. Apostolescu N., Baran D. Algorithm and code for analyzing hyperspectral images using the Hurst exponent. *INCAS Bulletin*, 2014, vol. 6, is. 3, pp. 3–11. doi: 10.13111/2066-8201.2014.6.3.1
  37. Zil'bergleyt M. A., Vashuk V. V., Kuznetsova T. F., Sycheva O. A., Budeyko N. L., Maevskaya O. I., Shevchuk M. O., Nesterova S. V., Chubis P. A. Sravnitel'naya otsenka ustoychivosti k stareniyu ofisnykh bumag razlichnykh proizvoditeley [Comparative assessment of resistance to aging of office papers from different manufacturers]. *Izvestiya vuzov. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela* [Proceedings of Universities. Printing and publishing problems], 2016, no. 3, pp. 16–27.
-