

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО И УПАКОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF PRINTING AND PACKAGING MANUFACTURES

УДК 655.3.06

И. Г. Громько, А. Н. Кудряшова

Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ НА КРАСКОЕМКОСТЬ ЗАПЕЧАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНОЙ ВПИТЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ

В статье представлены результаты исследования зависимости между структурными параметрами и свойствами запечатываемого материала на впитывающей и невпитывающей основе методами теории фракталов. Оценивая влияние фрактальной структуры поверхностей печатного контакта на перенос краски, необходимо учитывать неоднородность их структуры. Для этой цели были получены профилограммы, определены значения среднего арифметического отклонения профиля, высоты неровностей по десяти точкам и наибольшей высоты профиля. Выполнен расчет фрактальной размерности поверхностной структуры материалов, характеризующий весь исследуемый участок поверхности, а не его определенные точки, а также краскоемкости, отражающей количественную связь между микрогеометрией поверхности запечатываемых материалов и восприятием краски непосредственно в печатном процессе. Построены графики зависимости количества краски на запечатываемой поверхности с различной впитывающей способностью от толщины ее слоя. Также были рассчитаны коэффициенты насыщения и краскопереноса, учитывающие влияние фрактальной структуры материалов на переход краски, сделан вывод о существовании зависимости между структурными параметрами и свойствами запечатываемого материала.

Ключевые слова: неоднородность, краскоемкость, коэффициент насыщения, фрактальная структура, микропрофиль, профилограмма, размах неровности.

Для цитирования: Громько И. Г., Кудряшова А. Н. Исследование влияния фрактальной неоднородности микроструктуры на краскоемкость запечатываемой поверхности материалов с различной впитывающей способностью // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт-и медиатехнологии. 2023. № 2 (273). С. 5–11. DOI: 10.52065/2520-6729-2023-273-2-1.

I. G. Gromyko, A. N. Kudryashova

Belarusian State Technological University

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF FRACTAL INHOMOGENEITY OF MICROSTRUCTURE ON THE PAINT CAPACITY OF THE SEALED SURFACE OF MATERIALS WITH DIFFERENT ABSORBENCY

The article presents the results of a study of the relationship between the structural parameters and properties of the sealed material on an absorbent and non-absorbent basis by methods of fractal theory. Assessing the effect of the fractal structure of the printed contact surfaces on the transfer of ink, it is necessary to take into account the heterogeneity of their structure. For this purpose, profilograms were obtained, the values of the arithmetic mean deviation of the profile, the height of the irregularities at 10 points and the greatest height of the profile were determined. The calculation of the fractal dimension of the surface structure of materials, characterizing the entire surface area under study, and not its specific points, as well as the ink capacity, reflecting the quantitative relationship between the microgeometry of the surface

of the materials being sealed and the perception of ink directly in the printing process, is performed. Graphs of the dependence of the amount of paint on the sealed surface with different absorbency on the thickness of its layer are constructed. Saturation and paint transfer coefficients were also calculated, taking into account the influence of the fractal structure of materials on the transition of paint. It was concluded that there is a relationship between the structural parameters and the properties of the sealed material.

Keywords: heterogeneity, color intensity, saturation coefficient, fractal structure, microfilm, profilogram, unevenness span.

For citation: Gromyko I. G., Kudryashova A. N. Investigation of the effect of fractal inhomogeneity of microstructure on the paint capacity of the sealed surface of materials with different absorbency. *Proceedings of BSTU, issue 4, Print- and Mediatechnologies*, 2023, no. 2 (273), pp. 5–11. DOI: 10.52065/2520-6729-2023-273-2-1 (In Russian).

Введение. В настоящее время требования, предъявляемые к качеству печатной продукции, постоянно растут. Одной из главных характеристик, определяющих качество оттисков и его разрешающую способность, является состояние запечатываемой поверхности, для оценки которой в печатном процессе используют методы, позволяющие характеризовать ее качество в условиях, моделирующих данный процесс [1]. Таким методом является определение в процессе печатания минимального количества краски, необходимого для полного насыщения внешней поверхности бумаги, позволяющей достичь требуемую оптическую плотность.

Одним из основных технологических требований к качеству запечатываемой поверхности как к носителю печатного изображения является однородность ее макроструктуры. При этом такая ровная поверхность должна одновременно обладать высокоразвитой микро- и субмикроструктурой. Пределы значений микронеровностей для различных видов запечатываемых поверхностей определяются размерами воспроизводимых элементов изображения и жесткостью печатной формы [1]. Тонкая микроструктура способствует более равномерному распределению слоя краски на поверхности, что позволяет получить более интенсивные оттиски. Кроме того, неровная поверхность бумаги снижает четкость контуров элементов изображения, уменьшает оптический контраст на границе пробельных и печатающих элементов на оттиске [2–4]. Именно с этой точки зрения является целесообразным определить зависимость между состоянием запечатываемой поверхности, ее структурой и количеством краски, которую она сможет воспринять в процессе печатания, что и является целью данной работы.

Основная часть. Для проведения исследования были использованы по четыре образца запечатываемых материалов на впитывающей и невпитывающей основе, которые содержали незапечатанные и запечатанные участки.

В качестве метода исследования был выбран метод теории фракталов, который дает возможность создания статистической теории исследования

свойств микроструктуры материалов. Фрактальная теория базируется на определении дробной топологической размерности, которая включает в себя свойство масштабной инвариантности, или, проще говоря, самоподобие, когда при любом изменении масштаба структура не изменяется [5]. Благодаря этому свойству фракталы можно считать эффективным инструментом для исследования неоднородных поверхностей. Теория фракталов позволяет решить задачу описания всей иерархии структурных уровней в сложных материалах. Так, фрактальный характер структур прослеживается, начиная с макро- и надмолекулярного уровней, далее на ультра- и микроструктурном уровнях. Таким образом, теория фракталов дает возможность описывать все многообразие структур в системе, хорошо отражает специфику структуры и является перспективной для описания свойств неоднородных материалов.

С помощью профилометра-профилографа Nommel Tester T1000 для каждого анализируемого образца были получены профилограммы, характеризующие микрорельеф поверхности материала. Примеры профилограммы незапечатанного и запечатанного образца 1 представлены на рис. 1, 2.

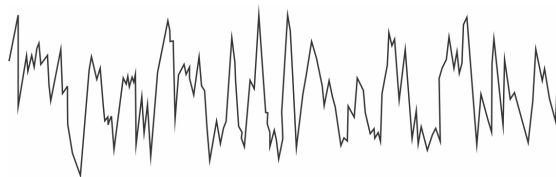


Рис. 1. Профилограмма незапечатанного образца 1

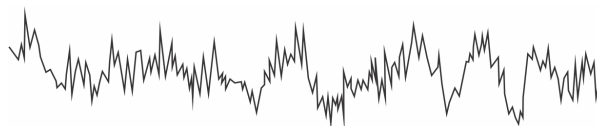


Рис. 2. Профилограмма запечатанного образца 1

Поверхностные свойства запечатываемого материала играют значительную роль в процессе краскопереноса и обеспечивают качество его протекания.

Проведенное исследование позволило определить параметры шероховатости микропрофиля исследуемых образцов (показатель фрактальной размерности микропрофиля $D_{пр}$, среднее арифметическое отклонение профиля R_a , высоту неровностей по десяти точкам R_z и наибольшую высоту профиля R_{max}), представленные в таблице.

При этом показатель фрактальной размерности микропрофиля отражает принципиально иную характеристику поверхности – дробную размерность пространства, образуемую данным профилем [6]. При вычислении R_z рассматриваются точки вершин и впадин, R_a – расстояние от средней линии до точки, а $D_{пр}$ – шаг по профилю с различными значениями, что позволяет учитывать микронеровности низших порядков.

Параметры шероховатости микропрофиля образцов

| Образец | $D_{пр}$, мкм | R_a , мкм | R_z , мкм | R_{max} , мкм |
|-------------------------|----------------|-------------|-------------|-----------------|
| На впитывающей основе | | | | |
| 1 незапечатанный | 1,537 | 1,693 | 8,39 | 10,06 |
| 1 запечатанный | 1,416 | 0,802 | 4,53 | 4,96 |
| 2 незапечатанный | 1,242 | 0,630 | 3,39 | 5,79 |
| 2 запечатанный | 1,012 | 0,364 | 2,06 | 3,57 |
| 3 незапечатанный | 1,405 | 0,900 | 4,65 | 5,5 |
| 3 запечатанный | 1,308 | 0,773 | 4,48 | 5,18 |
| 4 незапечатанный | 1,444 | 0,660 | 4,18 | 5,67 |
| 4 запечатанный | 1,378 | 0,565 | 3,50 | 4,57 |
| На невпитывающей основе | | | | |
| 1 незапечатанный | 1,364 | 0,417 | 1,94 | 2,97 |
| 1 запечатанный | 1,053 | 1,253 | 7,39 | 9,76 |
| 2 незапечатанный | 1,316 | 1,055 | 8,17 | 17,03 |
| 2 запечатанный | 1,254 | 0,638 | 3,84 | 9,18 |
| 3 незапечатанный | 1,175 | 0,454 | 3,41 | 6,24 |
| 3 запечатанный | 1,188 | 0,886 | 4,89 | 10,23 |
| 4 незапечатанный | 1,213 | 0,621 | 3,46 | 4,27 |
| 4 запечатанный | 1,419 | 1,386 | 7,22 | 11,01 |

Анализ полученных данных позволяет отметить, что при увеличении значений фрактальной размерности происходит рост значений параметров шероховатости R_a , R_z , R_{max} . В то же время наблюдается снижение значения фрактальной размерности $D_{пр}$ запечатанного образца по сравнению с незапечатанным. Это связано с тем, что в процессе получения оттиска происходит заполнение микронеровностей краской. Также в зоне контакта под действием давления наблюдается сглаживание неровностей поверхности материала.

С целью определения количественной связи между микрогеометрией поверхности запечатываемых материалов и восприятием краски непосредственно в печатном процессе [7] была определена краскоемкость, которая базировалась на значениях фрактальной размерности поверх-

ностной структуры бумаги $D_{пр}$ и количестве краски, необходимой для заполнения всех внешних неровностей поверхности $G_{отт}$:

$$G_{отт} = S_0 h_0 \rho_{кр} (1 - h^{2-D_{пр}}). \quad (1)$$

где S_0 – площадь печатного элемента; h_0 – толщина слоя краски на оттиске; $\rho_{кр}$ – плотность краски; h – высота микронеровностей запечатываемой поверхности в относительных единицах; $D_{пр}$ – фрактальная размерность поверхности запечатываемого материала.

Краскоемкость запечатываемой поверхности представляет минимальное количество краски, необходимое и достаточное для заполнения всех внешних неровностей в процессе печатания [8]. Структура исследуемых поверхностей определяется формой, размерами и расположением элементов, ее составляющих.

Анализ полученных данных дал возможность построить графики зависимости количества краски на запечатываемой поверхности с различной впитывающей способностью от толщины ее слоя, приведенные на рис. 3 и 4.

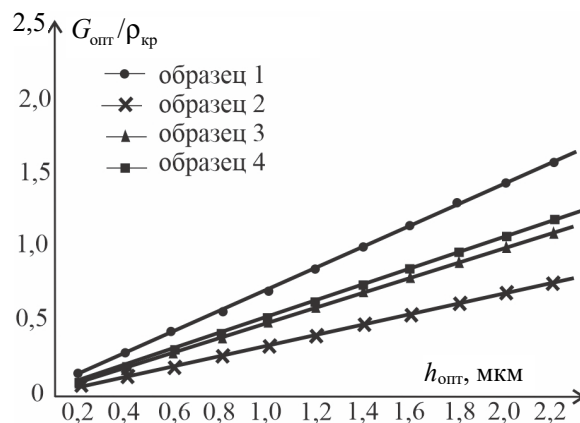


Рис. 3. Зависимость количества краски от толщины ее слоя на впитывающем материале

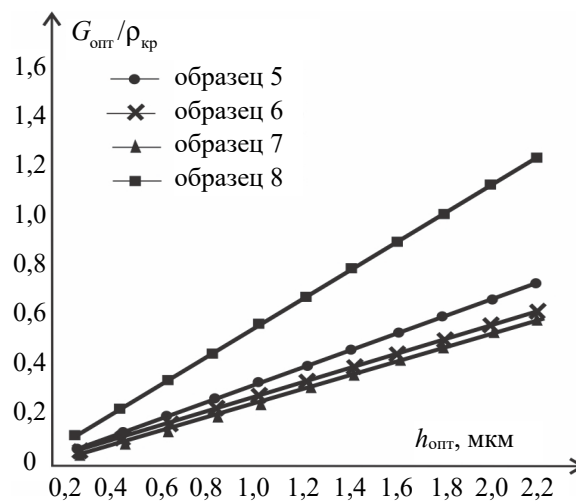


Рис. 4. Зависимость количества краски от толщины ее слоя на невпитывающем материале

Как показывают полученные данные, краскоемкость исследуемых образцов различна, что в конечном итоге будет определять разное количество краски на оттиске. Для материалов на невпитывающей основе наибольшую краскоемкость имеет образец, запечатанный УФ-красками, а наименьшую – образец, запечатанный красками на водной основе. Сравнительный анализ влияния впитывающей способности материала на краскоемкость поверхности позволяет отметить, что материалы на невпитывающей основе будут менее краскоемкими.

Для оценки степени насыщения внешней поверхности запечатываемого материала краской при любом заданном количестве ее на форме в области рабочих толщин слоя был рассчитан коэффициент насыщения K_n , который определяет долю краски, необходимую для заполнения всего свободного объема между неровностями поверхности [9]:

$$K_n = \frac{0,5(h_\phi - b)}{h_{\text{отт, макс}}(1 - h_{\text{макс}}^{2-D})}. \quad (2)$$

После получения всех значений для каждого из образцов была построена зависимость коэффициента насыщения от толщины слоя краски на оттиске. Расчет проводился исходя из того, что на оттиск переходит половина краски с печатной формы. Также учитывалось существование слоя краски на форме в виде пленки, которая на запечатываемый материал не передается.

Зависимости коэффициента насыщения исследуемых материалов от толщины слоя краски на оттиске представлены на рис. 5 и 6.

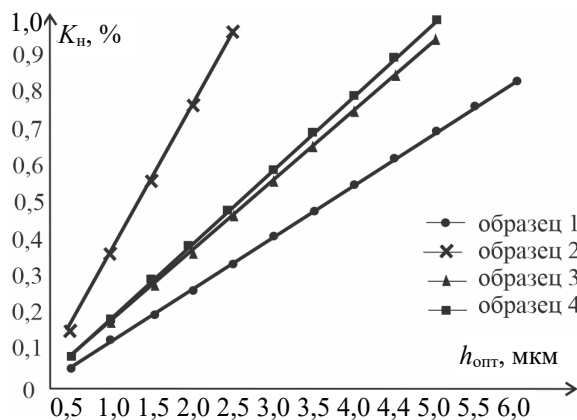


Рис. 5. Зависимость коэффициента насыщения материала на впитывающей основе от толщины красочного слоя

Построенные графики имеют линейный характер для всех исследуемых образцов. Угол наклона прямых к оси абсцисс, характеризующих данную зависимость, тем больше, чем больше поверхность контакта с формой при заданной толщине слоя краски на форме. Степень насыщения краской представленных образцов будет

различной [10]. Например, при толщине красочного слоя на форме 3 мкм для материалов на впитывающей основе коэффициент насыщения изменяется в диапазоне от 40 до 100%, а для материалов на невпитывающей основе – от 25 до 55%.

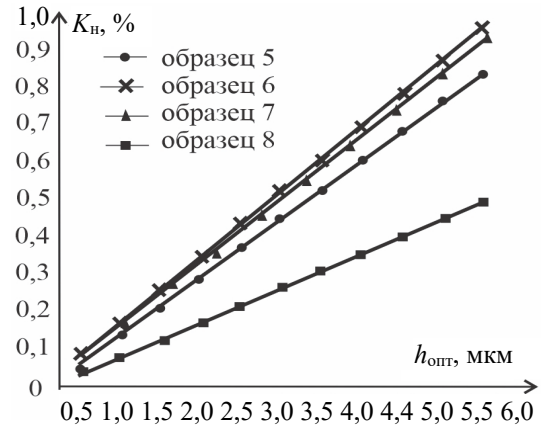


Рис. 6. Зависимость коэффициента насыщения материала на невпитывающей основе от толщины красочного слоя

С целью определения оптимального количества краски на форме был рассчитан коэффициент переноса, который представляет собой отношение количества краски на оттиске к количеству краски на форме [11]. Данный коэффициент характеризует степень переноса краски на запечатываемый материал в зависимости от толщины красочного слоя на форме. Расчет коэффициента переноса производился по следующей формуле:

$$K_n = \frac{1 - e^{-kx}}{x} \left\{ G_{\text{кр}}^e \left(1 - e^{-\frac{x}{G_{\text{кр}}^e}} \right) + \right\} \times \left\{ + f \left[x - G_{\text{кр}}^e \left(1 - e^{-\frac{x}{G_{\text{кр}}^e}} \right) \right] \right\}. \quad (3)$$

Важным при определении коэффициента переноса является то, что для каждого вида материала необходимо подобрать неизвестные параметры f и k [12]. Константа k определяет характер кривой переноса в области малой толщины слоя краски, а константа f характеризует долю свободного слоя краски в области больших толщин.

Как правило, при получении оттиска стремятся к тому, чтобы количество перешедшей краски было максимальным. Условия краскопереноса определяются физико-химическими и поверхностными свойствами соприкасающихся в течение времени контакта поверхностей. Зависимость коэффициента перехода от высоты слоя краски на оттиске позволяет охарактеризовать печатный процесс и исследовать эффективность использования различных материалов.

Зная, что фрактальная структура является неоднородной [13–15], ее влияние на процесс переноса краски на запечатываемую поверхность необходимо рассматривать с учетом влияния неоднородности структуры материалов. Зависимости коэффициента переноса краски от толщины слоя краски на форме представлены на рис. 7 и 8.

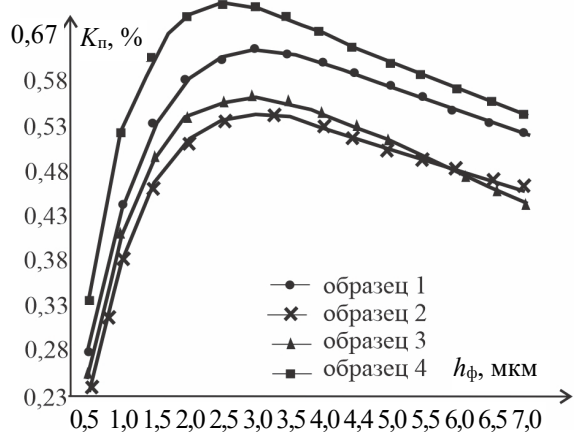


Рис. 7. Зависимость коэффициента переноса краски от толщины слоя для материалов на впитывающей основе

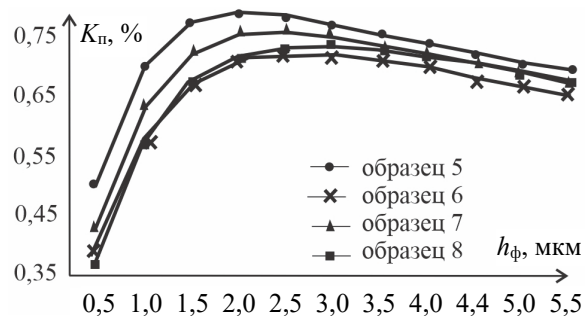


Рис. 8. Зависимость коэффициента переноса краски от толщины слоя для материалов на невпитывающей основе

Анализируя форму кривых для различных материалов, необходимо отметить, что данные зависимости имеют существенные различия.

Рассматриваемая кривая для пленочных материалов характеризуется наличием только двух областей: недостатка и избытка краски. Данная кривая не имеет ярко выраженного максимума. Практически сразу после достижения точки насыщения кривая приобретает постоянное значение. Для образцов картона наблюдается несколько иная картина. Форма кривых соответствует бумагам высшей гладкости. Максимум коэффициента переноса, изменяющийся в диапазоне 53–69%, достигается при толщине слоя краски на форме, равной 2,5–3,0 мкм.

Для материалов на впитывающей основе максимальное значение краскопереноса будет достигаться для образца 4 при толщине слоя краски на

форме 2,5 мкм и составлять 69%, для материалов на невпитывающей основе для образца 5 – 78% при толщине красочного слоя 2 мкм.

Изменение типа запечатываемой поверхности оказывает влияние на коэффициент краскопереноса. Для образцов на впитывающей основе максимум выражен ярче по сравнению с образцами на невпитывающей основе. Также для исследуемых образцов картона скорость возрастания коэффициента переноса в области недостатка толщин красочных слоев будет наибольшей. Распределение краски внутри элемента изображения зависит главным образом от распределения давления на поверхности этого элемента в момент печатного контакта. Распределение давления в свою очередь будет определяться микрогеометрией запечатываемой поверхности. Давление при печатании, увеличивая поверхность контакта, будет повышать значение коэффициента переноса на всех участках характеристической кривой, смещая максимум переноса в область меньших толщин слоя краски. При малых толщинах слоя краски распределение ее зависит прежде всего от характера запечатываемой поверхности, так как основная часть объема краски будет заполнять внешние поры поверхности.

Для пленочных материалов с ровной поверхностью и сравнительно однородной макроструктурой контакт формы с запечатываемым материалом наступает практически одновременно по всей поверхности печатающего элемента и напряжения внутри контактной площади распределяются достаточно равномерно. Подвижная прослойка краски растекается по поверхности оттиска ровным слоем.

Вывод. Результаты исследований подтвердили тот факт, что использованное математическое описание структурно-механических свойств запечатываемых материалов, а также нового исследовательского аппарата – теории фракталов – позволили в полной мере реализовать специальную методику экспериментального изучения поверхностных свойств материалов. Можно сделать выводы об оптимизации процесса переноса краски и повышении эффективности технологии печатания, повышении качества печатной продукции, снижении расхода краски при печатании, уменьшении количества отходов на технологические нужды, уменьшении времени на подготовительные операции и общее время печатания. Таким образом, учитывая фрактальный характер краскопереноса, можно оказывать влияние на показатели эффективности и качества благодаря учету конкретных особенностей данного технологического варианта. С помощью полученных в ходе работы результатов было доказано, что существует прямая зависимость между структурными параметрами и свойствами запечатываемого материала.

Список литературы

1. Козаровицкий Л. А. Бумага и краска в процессе печатания. М.: Книга, 1965. 368 с.
2. Полянский Е. Е. Основы полиграфического производства. Изд. 2-е, перераб. М.: Книга, 1991. 117 с.
3. Попрядухин П. А. Технология печатных процессов. М.: Книга, 1968. 360 с.
4. Шахкельдян Б. Н., Загаринская Л. А. Полиграфические материалы. М.: Книга, 1988. 330 с.
5. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
6. Кулак М. И. Фрактальная механика материалов. Минск: Выш. шк., 2002. 304 с.
7. Кулак М. И., Ничипорович С. А., Медяк Д. М. Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления: полиграфические материалы и процессы. Минск: Бел. наука, 2007. 419 с.
8. Технология печатных процессов / А. Н. Раскин [и др.]. М.: Книга, 1989. 301 с.
9. Пиотух И. Г., Пласконная Н. В., Медяк Д. М. Влияние фрактальных особенностей микроструктуры поверхности на краскоемкость печатной бумаги // Издательско-полиграфический комплекс на пороге третьего тысячелетия: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск 21–23 ноября 2001 г. С. 110–117.
10. Пиотух И. Г., Пласконная Н. В., Медяк Д. М. Влияние фрактальных особенностей микроструктуры поверхности на краскоемкость печатной бумаги // Издательско-полиграфический комплекс на пороге третьего тысячелетия: материалы Междунар. науч.-техн. конф. БГТУ, Минск, 2001. С. 67–74.
11. Пиотух И. Г., Пласконная Н. В., Медяк Д. М. Учет фрактальных особенностей микроструктуры бумаги при расчете коэффициента краскопереноса // Издательско-полиграфический комплекс на пороге третьего тысячелетия: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск 21–23 ноября 2001 г. С. 118–121.
12. Громыко И. Г. Влияние фрактальной структуры этикеточных видов бумаги и картона на процесс краскопереноса // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. 2009. Вып. XVII. С. 21–24.
13. Кулак М. И., Боброва О. П., Пиотух И. Г. Фракталы в исследованиях взаимодействия бумаги и краски в процессе печатания // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск 25–26 октября 2000 г. С. 249–251.
14. Пиотух И. Г. Учет фрактальной неоднородности поверхностей печатного контакта при расчете материалов печатного процесса // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. 2003. Вып. XI. С. 65–69.
15. Пиотух И. Г., Боровец Т. А., Медяк Д. М. Статистическое обоснование фрактальной структуры поверхностей печатного контакта // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. 2004. Вып. XII. С. 43–46.

References

1. Kozarovitskiy L. A. *Bumaga i kraska v protsesse pechataniya* [Paper and ink in the process of printing]. Moscow, Kniga Publ., 1965. 368 p. (In Russian).
2. Polyanskiy E. E. *Osnovy poligraficheskogo proizvodstva* [Fundamentals of printing production]. Moscow, Kniga Publ., 1991. 117 p. (In Russian).
3. Popryadukhin P. A. *Tekhnologiya pechatnykh protsessov* [Technology of printing processes]. Moscow, Kniga Publ., 1968. 360 p. (In Russian).
4. Shakhkel'dyan B. N., Zagarinskaya L. A. *Poligraficheskiye materialy* [Polygraphic materials]. Moscow, Kniga Publ., 1988. 330 p.
5. Mandelbrot 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. Kulak M. I., Nychiporovich S. A., Medyak D. M. *Metody teorii fraktalov v tekhnologicheskoy mekhanike i protsessakh upravleniya: poligraficheskiye materialy i protsessy* [Methods of fractal theory in technological mechanics and control processes: polygraphic materials and processes]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2007. 419 p. (In Russian).
8. Raskin A. N., Romeikov I. V., Biryukova N. D., Muratov Yu. A., Efremova A. N. *Tekhnologiya pechatnykh protsessov* [Technology of printing processes]. Moscow, Kniga Publ., 1989. 301 p. (In Russian).
9. Piotukh I. G., Plaskonnaya N. V., Medyak D. M. The influence of fractal features of the microstructure of the surface on the ink capacity of printed paper. *Izdatel'sko-poligraficheskiy kompleks na poroge tret'yego*

tysyacheletiya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Publishing and polygraphic complex on the threshold of the third millennium: materials of International Scientific and Technical conference]. Minsk, 2001, pp. 110–117 (In Russian).

10. Piotukh I. G., Plaskonnaya N. V., Medyak D. M. The influence of fractal features of the surface microstructure on the ink capacity of printed paper. *Izdatel'sko-poligraficheskiy kompleks na poroge tret'yego tysyacheletiya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Publishing and Printing Complex on the threshold of the third millennium: materials of International Scientific and Technical conference BSTU]. Minsk, 2001, pp. 67–74 (In Russian).

11. Piotukh I. G., Plaskonnaya N. V., Medyak D. M. Taking into account the fractal features of the paper micro-structure when calculating the ink transfer coefficient. *Izdatel'sko-poligraficheskiy kompleks na poroge tret'yego tysyacheletiya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Publishing and Printing Complex on the threshold of the third millennium: materials of International Scientific and Technical conference]. Minsk, 2001, pp. 118–121 (In Russian).

12. Gromyko I. G. The effect of the fractal structure of label types of paper and cardboard on the process of paint transfer. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], series IX, Publishing and Printing, 2009, issue XVII, pp. 21–24 (In Russian).

13. Kulak M. I., Bobrova O. P., Piotukh I. G. Fractals in the studies of the interaction of paper and ink in the printing process. *Avtomaticheskii kontrol' i avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Automatic control and automation of production processes: materials of International Scientific and Technical conference]. Minsk, 2000, pp. 249–251 (In Russian).

14. Piotukh I. G. Taking into account the fractal heterogeneity of the printed contact surfaces when calculating the materials of the printing process. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], series IX, Publishing and Printing, 2003, issue XI, pp. 65–69 (In Russian).

15. Piotukh I. G., Borovets T. A., Medyak D. M. Statistical substantiation of the fractal structure of printed contact surfaces. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], series IX, Publishing and Printing, 2004, issue XII, pp. 43–46 (In Russian).

Информация об авторах

Громыко Ирина Григорьевна – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gromyko@belstu.by

Кудряшова Алина Николаевна – магистрант кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kudryashova@belstu.by

Information about the authors

Gromyko Irina Grigor'yevna – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gromyko@belstu.by

Kudryashova Alina Nikolaevna – Master's degree student, the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kudryashova@belstu.by

Поступила 30.06.2023