

УДК 655.3.027.3

М. А. Зильберглейт, И. В. Марченко

Белорусский государственный технологический университет

**НОВЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НЕОДНОРОДНОСТИ БУМАГИ
В УСЛОВИЯХ МАЛОЙ ТИПОГРАФИИ**

Бумажное производство активно развивается, стремясь к повышению качества продукции и эффективности. Для этого необходимо совершенствовать контроль входящих материалов для типографий, уделяя особое внимание структурным характеристикам бумаги.

В данной публикации выполнен анализ возможностей применения различных методов в исследовании структурной неоднородности бумаги для оценки ее влияния на печать и повышение качества полиграфической продукции. Современные исследования взаимосвязи между структурой и свойствами бумаги все больше используют передовые технологии, включая вычислительные и информационные методы. Это позволяет создавать практичные и экономичные инструменты для контроля, анализа и совершенствования печатного процесса. Настоящее исследование направлено на рассмотрение ряда методов, позволяющих в условиях ограниченного времени и ресурсов малых полиграфических предприятий и центров оперативной полиграфии проводить измерение таких свойств бумаги, как равномерность просвета.

Исследование было проведено на самой распространенной офисной бумаге формата А4 классов А, В и С массой 80 г/м², выпускаемой разными производителями. Ключевым фактором, обеспечивающим надежную работу высокоскоростной офисной техники (принтеров, копировальных аппаратов, цифровых печатных машин), является равномерность формирования структуры бумаги. Полученные результаты подчеркивают: чтобы производить качественную продукцию, важно быстро оценивать в процессе производства прозрачность и оптическую неоднородность запечатываемого материала. Эти параметры являются ключевыми показателями взаимодействия бумаги и краски, снижающими затраты на изготовление продукции и повышающими качество печатных оттисков.

Ключевые слова: офисная бумага, струйная печать, неоднородность бумаги, макроструктура, контроль качества.

Для цитирования: Зильберглейт М. А., Марченко И. В. Новые методы оценки неоднородности бумаги в условиях малой типографии // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2025. № 2 (297). С. 12–17.

DOI: 10.52065/2520-6729-2025-297-2.

M. A. Zilbergleit, I. V. Marchenko

Belarusian State Technological University

**NEW METHODS FOR ASSESSING PAPER HETEROGENEITY IN SMALL
PRINTING HOUSES**

Paper production is actively developing, striving to improve product quality and efficiency. To do this, it is necessary to improve the control of incoming materials for printing houses, paying special attention to the structural characteristics of the paper.

This publication analyzes the possibilities of using various methods in the study of the structural heterogeneity of paper in order to influence its printing and improve the quality of printing products. Modern studies of the relationship between the structure and properties of paper are increasingly using advanced technologies, including computational and information methods. This allows you to create practical and economical tools to control, analyze and improve the printing process. This study is aimed at considering a number of methods that allow, in conditions of limited time and resources of small printing enterprises and operational printing centers, to measure paper properties such as lumen uniformity.

The study was conducted on the most common office paper format A4 class A, B and C weighing 80 g/m², produced by different manufacturers. The key factor that ensures the reliable operation of high-speed office equipment (printers, copiers, digital printing machines) is the uniformity of its structure. The results obtained emphasize that in order to produce quality products, it is important to quickly evaluate the transparency and optical heterogeneity of the printing material during the production process. These parameters are key indicators of the interaction of paper and ink, reducing production costs and improving the quality of printed prints.

Keywords: office paper, inkjet printing, paper heterogeneity, macrostructure, quality control.

For citation: Zilbergleit M. A., Marchenko I. V. New methods for assessing paper heterogeneity in small printing houses. *Proceedings of BSTU, issue 4, Print- and Mediatechnologies*, 2025, no. 2 (297), pp. 12–17 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-6729-2025-297-2.

Введение. В последние годы в полиграфии наблюдается интенсивное развитие цифровых способов печати, что в первую очередь связано с выпуском высокопроизводительных печатных машин с программным управлением, повышением уровня автоматизации печатного процесса, созданием высококачественных материалов.

После увеличения области применения цифровой печати производители запечатываемых материалов стали создавать бумагу разной плотности, гладкости, белизны, самоклеящиеся элементы, фотобумагу и другие современные материалы.

Появление большого количества устройств цветной цифровой печати струйной технологии требует правильного выбора бумаги, так как струйная печать очень прихотлива к запечатываемому материалу. В этой работе мы попытались оценить бумагу для струйной печати по критериям эффективности использования и качества печати.

Современное производство бумаги переживает бурный рост, предъявляя все более высокие требования к качеству продукции и эффективности производства. Это напрямую связано с необходимостью совершенствования методов контроля и управления технологическим процессом, особое внимание при этом уделяется оценке структурных свойств бумаги.

Структура бумажного листа, сложная и многофакторная система, формируется под влиянием множества параметров, начиная от свойств исходного волокнистого материала (древесина, макулатура, различные добавки) и заканчивая режимами обработки на бумагоделательной машине. Взаимодействие волокон, их ориентация, степень переплетения, распределение наполнителей и связующих веществ – все это определяет конечные потребительские свойства бумаги: прочность на разрыв и раздираемость, белизну и непрозрачность (оптические свойства), гладкость и шероховатость поверхности (печатные свойства), способность к впитыванию чернил и др.

Однородность структуры является ключевым фактором, определяющим качество бумаги. Чем более однородно распределены волокна и другие компоненты по всей площади листа, тем выше его прочностные характеристики. Равномерное распределение волокон обеспечивает меньшее количество слабых мест, повышая сопротивляемость разрывам и раздирам. Кроме того, однородность способствует улучшению оптических свойств, таких как белизна и непро-

зрачность. Свет рассеивается более равномерно в однородной структуре, что приводит к уменьшению просвечивания и повышению яркости. В печатном процессе однородность гарантирует равномерное нанесение краски и предотвращает появление дефектов, таких как полосы или неравномерная плотность печати, в результате которых изображение получается размытым [1–6].

Установление конкретной зависимости между однородностью структуры запечатываемого материала и его красковосприятием является актуальной и ценной с практической точки зрения задачей.

Цель работы – анализ влияния свойств запечатываемого материала на качество печати через использование различных методов оценки неоднородности бумаги.

Основная часть. При изучении макроструктуры бумаги применяют косвенные методы, основанные на оценке вариации физических свойств бумаги или средних значений некоторых характеристик ее объема и поверхности. Используются методы, основанные на оценке взаимодействия бумаги с излучениями различных типов, причем наибольшее распространение получили оптические методы, в том числе методы определения неравномерности просвета или облачности, поскольку неоднородность оптической плотности бумаги, как и многих других ее характеристик, непосредственно связана с неоднородностью строения листа [7].

Развитие методов оценки структуры бумаги тесно связано с прогрессом в области микроскопии (световой, электронной, оптической, атомно-силовой), рентгенографии, компьютерной томографии и других инструментальных методов анализа [8–13]. Современные методы позволяют не только получать изображения структуры, но и количественно оценивать такие параметры, как плотность, ориентация волокон, их размер и форма, пористость, распределение наполнителей. Обработка полученных данных, часто с использованием сложных алгоритмов машинного обучения, позволяет установить количественные связи между структурой и свойствами бумаги.

За последние несколько десятилетий было опубликовано огромное количество научных работ, посвященных исследованию структуры бумаги [14–15]. Однако, несмотря на значительный прогресс, многие аспекты остаются недостаточно изученными. В частности, требуется дальнейшее развитие методов, позволяющих

оценивать структуру бумаги на разных масштабных уровнях — от микроскопического уровня отдельных волокон до макроскопического уровня всего бумажного листа. Это особенно актуально для разработки новых типов бумаги со специальными свойствами, например высокопрочной бумаги для упаковки, бумаги с повышенной водостойкостью, бумаги для печати высококачественных изображений или специализированной бумаги для электроники. Кроме того, важной задачей является разработка новых, более быстрых и экономичных методов контроля качества бумаги в режиме реального времени, позволяющих оперативно корректировать технологический процесс и предотвращать образование брака.

Достаточно подробно были описаны методы определения однородности строения бумаги Вайсманом Л. М. [6], связанные с микроструктурой бумаги, включая отдельные примеры экспериментального изучения тонкой структуры листа, его первичных исходных компонентов. Также рассматривались методы и критерии оценки макроструктуры бумаги и соответствующая контрольно-измерительная аппаратура, используемая в основном для лабораторного контроля, в том числе оптические методы и устройства определения неравномерности просвета бумажного листа.

Методы оптического сканирования структуры бумаги с аппаратным обеспечением и информационными технологиями наиболее распространены в настоящее время. В отечественных нормативных документах в качестве требований к равномерности формования бумаги обычно указывается, что «просвет должен быть однородным», «просвет бумаги должен быть равномерным и соответствовать образцу, согласованному между изготовителем и потребителем». На полиграфических предприятиях равномерность формования макроструктуры оценивается субъективно, «на глаз».

В настоящем исследовании для измерения свойств бумаги, конкретно равномерности просвета бумажного листа, будут рассмотрены несколько методов, использование которых возможно в условиях малых полиграфических предприятий и центров оперативной полиграфии, не тратя при этом много времени.

В качестве исследуемых образцов были выбраны офисные бумаги классов А, В и С массой 80 г/м^2 , выпускаемые разными производителями.

Первый метод измерения неоднородности просвета образца бумаги осуществлялся с использованием просвечивающего микроскопа с цифровой фиксацией Levenhuk Rainbow D50L PLUS с 64-кратным увеличением, после чего полученное цифровое изображение образца обрабатывалось программным продуктом с компьютерным анализом корректировки изображений

ImageJ и JMicroVision (имеет открытый код и распространяется бесплатно), которые предназначены для обработки оптических данных, сохраненных в цифровых форматах. Полученные цифровые изображения исследовали по ряду параметров, характеризующих неоднородность: среднеквадратичное отклонение оттенков серого, индекс формования, количество оттенков серого для 8-битного изображения, размах оттенков серого, энтропия Шеннона, показатель фрактальности, соотношение площадей флоккулы — промоины, количество флоккул и промоин.

Второй метод заключался в просвечивании образца бумаги по всей площади листа лампами полиграфического монтажного стола с подсветкой снизу. Образец бумаги формата А4 укладывался на стеклянную поверхность полиграфического монтажного стола с подсветкой снизу, просвечиваемый стандартным источником света монтажного стола, обеспечивающим равномерное освещение по всему полю (при этом в комнате выключалось внешнее освещение), образец бумаги фотографировался камерой, расположенной и зафиксированной на определенной высоте (использовался лабораторный штатив). Камера фотографировала образец по всей площади, после чего снятое изображение обрабатывалось стандартной программой ImageJ для обработки изображений. Данная программа, используя исходные данные (графический файл), определяет среднеквадратичное отклонение, пределы сканирования по среднему, производит кластеризацию и т. п. На основании результатов можно получить ряд прочих расчетных данных, которыми принято характеризовать просвет бумаги.

Предлагаемый способ определения неоднородности просвета бумаги позволяет использовать устройства и оборудование, имеющееся в любой типографии. Кроме того, данный процесс занимает немного времени (5–10 мин). Это дает возможность в режиме реального рабочего времени оперативно оценить качество бумаги и уменьшить количество печатного брака.

Результаты исследования равномерности просвета офисных бумаг данным методом описывались в работе [16], где были определены образцы бумаг, имеющие лучшие показатели просвета. Для фиксации облачности были получены фотоснимки бумаги на просвет, после чего их оцифровали и подготовили для изучения экспертами.

Способность бумаги воспринимать краску и глубина ее проникновения в толщу бумажного листа зависят от ряда факторов, определяемых как свойствами краски, так и структурой бумаги, в частности ее капиллярными свойствами.

Третий метод относится к способам неразрушающего контроля светопроницаемых материалов, например бумаги [17].

Качественный оттиск достигается благодаря точной оценке впитывающей способности бумаги, которая обеспечивает быстрое и полное закрепление краски. Стоит отметить, что механизмы взаимодействия бумаги с чернилами для струйных принтеров существенно отличаются от тех, что используются в офсетной и глубокой печати.

Способ определения структурной неоднородности бумаги заключался в том, что образец бумаги нужного формата скручивали в машинном направлении и (или) поперечном направлении по волокну и фиксировали. В емкость определенного объема наливалась слегка окрашенная вода. Далее скрученный образец опускался в емкость с окрашенной жидкостью так, чтобы он коснулся дна емкости, на 15 мин. После чего лист вынимали, разворачивали и на плоской поверхности стола высушивали. Благодаря окрашенной жидкости на бумаге был виден профиль высоты поднятия жидкости. Далее проводились замеры поднятия жидкости от уровня воды в 7–10 наиболее высоких точках. Обработку полученного профиля выполняли по ГОСТ 2789–73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» [18]. Разные виды бумаг показали неодинаковые профили высоты поднятия жидкости, что говорит о структурной неоднородности бумаги.

На основании результатов можно получить ряд прочих расчетных данных, которыми принято характеризовать структурную неоднородность бумаги.

Такой метод определения структурной неоднородности бумаги позволяет использовать простые инструменты и приспособления, имеющиеся в любой типографии, оценить качество бумаги и уменьшить количество печатного брака.

Четвертый метод определения неоднородности бумаги также использовал способ неразрушающего контроля светопроницаемых материалов путем обработки образцов бумаги, пропитанных парами йода, в результате чего поверхность бумаги приобретала синий контрастный цвет [19]. Так как бумага имела неоднородную структуру, впитывание происходило также неравномерно. Затем окрашенный образец бумаги сканировали и получали картинку в цифровом формате. После чего изображение анализировали любым программным продуктом по обработке изображений, позволяющим получить дисперсию окраски и коэффициент вариации распределения цвета. На основании этого можно было сделать вывод о том, какая бумага имеет более или менее однородную структуру.

Заключение. Системный подход к улучшению печатной продукции, основанный на глубоком понимании взаимосвязи структуры бумаги и оттиска, открывает новые горизонты в развитии полиграфии. Разработка усовершенствованных требований к качеству бумаги станет ключевым шагом для достижения нового уровня визуального восприятия печатной продукции как средства коммуникации и искусства.

Таким образом, в процессе исследования офисных бумаг экспериментально определено преимущество рассматриваемых методов при выборе бумаги, обеспечивающей выпуск продукции надлежащего качества. Достоинства обсуждаемых методов состоят в следующем:

- оборудование для получения фотографии образца исследуемой бумаги (работающие на отражение/просвет микроскопы, монтажный стол, цифровые фотокамеры, имеющиеся в каждом современном телефоне, персональные компьютеры с программным обеспечением) сравнительно дешево, может быть в любой типографии, экологически безопасно и широко распространено, поэтому внедрение таких методик в производственную практику типографий не должно иметь серьезных препятствий;

- информативность рассматриваемых методов уникальна, при использовании программных продуктов с компьютерным анализом корректировки изображений ImageJ и JMicroVision можно количественно охарактеризовать весьма разнообразные изучаемые объекты со средними значениями показателей отражения, пропускания, поглощения света и параметрами их оптической неоднородности;

- эти процессы, занимающие не более 5–10 мин, гарантирует оперативную оценку качества бумаги в реальном времени.

Использование материалов, рассматриваемых методов определения структурной неоднородности бумаги позволит оценить качество запечатываемого материала и повлиять на весь технологический процесс в целом. Например, в нашем исследовании лучшие результаты показали некоторые образцы офисной бумаги классов А и С, удовлетворительные – классов В и С. Также отдельные образцы класса А, В и С были признаны неудовлетворительными. Отсюда можно сделать вывод, что несмотря на формальное отношение некоторых видов бумаг к классу С, они мало чем уступают по качеству бумагам класса А, а в некоторых случаях даже превосходит некоторые из них.

Список литературы

1. Фляте Д. М. Свойства бумаги. М.: Лесная промышленность, 2000. 680 с.
2. Валенски В. Бумага + Печать. М.: Дубль В, 1996. 430 с.

3. Абрамова В. В., Гурьев А. В. Влияние фракционирования на комплекс свойств волокон полуфабрикатов и равномерность формирования структуры бумаги // *Целлюлоза. Бумага. Картон*. 2012. № 9. С. 50–53.
4. Абрамова В. В., Гурьев А. В. Оценка равномерности макроструктуры офисной бумаги // *Лесной журнал*. 2017. № 4/358. С. 172–186.
5. Леонтьев В. Н. Методы и средства совершенствования печатных свойств бумаги в системе «бумага – краска – оттиск»: учеб. пособие. СПб.: ГОУВПО СПбГУРП, 2009. 170 с.
6. Вайсман Л. М. Структура бумаги и методы ее контроля. М.: Лесная промышленность, 1973. 152 с.
7. Хмельницкий А. К. Модели оценки влияния свойств бумаги на качество полиграфической продукции: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13. СПб., 2004. 136 с.
8. Жуков М. В. Контроль структуры различных видов бумаги методом атомно-силовой микроскопии // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2014. № 1 (89). С. 44–49.
9. Brinen J. S., Kulick R. J. SIMS imaging of paper surfaces. Part 4. The detection of desizing agents on hard-to-size paper surfaces // *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes*. 1995. Vol. 143. P. 177–190.
10. Fardim P., Holmbom B. R. ToF-SIMS imaging: a valuable chemical microscopy technique for paper and paper coatings // *Applied Surface Science*. 2005. Vol. 249. P. 393–407.
11. Heterogeneity characterization of commercial structural papers / J. Considine [et al.] // *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 2024. Vol. 39, no. 2. P. 151–176.
12. Corte H. Perception of the optical properties of paper // *The Fundamental Properties of Paper Related to its Uses* / ed. F. Bolam; British Paper and Board Industry Federation. London: Technical Section, 1976. P. 626–658.
13. Farnood R. R. Optical Properties of Paper: Theory and Practice // *Advances in Pulp and Paper Research: Trans. of the XIVth Fund. Res. Symp. Oxford, 2009*. P. 273–352. DOI: 10.15376/frc.2009.1.273.
14. Варепко Л. Г. Методология прогнозирования качества офсетной печати с учетом микрогеометрии поверхности запечатываемых материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.13. М., 2014. 300 с.
15. Абрамова В. В. Разработка метода оценки равномерности формирования макроструктуры бумаги: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03. Архангельск, 2017. 149 с.
16. Зильберглейт М. А., Марченко И. В. Определение равномерности просвета бумаг различных классов // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки*. 2023. № 2. С. 70–74.
17. Способ определения структурной неоднородности бумаги: пат. BY 24404 / М. А. Зильберглейт, И. В. Марченко. Оpubл. 20.05.2024.
18. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики: ГОСТ 2789–73. М.: Стандартинформ, 2006. 7 с.
19. Способ определения неоднородности поверхности бумаги: пат. BY 24403 / М. А. Зильберглейт, И. В. Марченко. Оpubл. 20.05.2024.

References

1. Flyatte D. M. *Svoystva bumagi* [Paper properties]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1970. 230 p. (In Russian).
2. Valenski V. *Bumaga + Pечат'* [Paper + Printing]. Moscow, Dubl' V Publ., 1996. 430 p. (In Russian).
3. Abramova V. V., Gur'yev A. V. The effect of fractionation on the complex properties of semi-finished fiber products and the uniformity of paper structure formation. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard], 2012, no. 9, pp. 50–53 (In Russian).
4. Abramova V. V., Gur'yev A. V. Assessment of the uniformity of the macrostructure of office paper. *Lesnoy zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 4/358, pp. 172–186 (In Russian).
5. Leont'yev 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).
6. Vaisman L. M. *Struktura bumagi i metody ee kontrolya* [Paper structure and methods of paper control]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 152 p. (In Russian).
7. Khmel'nikskiy A. K. *Modeli otsenki vliyaniya svoystv bumagi na kachestvo poligraficheskoy produktsii. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Models for assessing the impact of paper properties on the quality of printing products. Dissertation PhD (Engineering)]. St. Petersburg, 2004. 136 p. (In Russian).

8. Zhukov M. V. Control of the structure of various types of paper by atomic force microscopy. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* [Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics], 2014, no. 1 (89), pp. 44–49 (In Russian).
9. Brinen J. S., Kulick R. J. SIMS imaging of paper surfaces. Part 4. The detection of desizing agents on hard-to-size paper surfaces. *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes*, 1995, vol. 143, pp. 177–190.
10. Fardim P., Holmbom B. R. ToF-SIMS imaging: a valuable chemical microscopy technique for paper and paper coatings. *Applied Surface Science*, 2005, vol. 249, pp. 393–407.
11. Considine J., Keller D. S., Arvanitis M. A., Tang Xiaoyan. Heterogeneity characterization of commercial structural papers. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 2024, vol. 39, no. 2, pp. 151–176.
12. Corte H. Perception of the optical properties of paper. *The Fundamental Properties of Paper Related to its Uses*. Ed. F. Bolam. London, Technical Section Publ., 1976, pp. 626–658.
13. Farnood R. R. Optical Properties of Paper: Theory and Practice. *Advances in Pulp and Paper Research: Trans. of the XIVth Fund. Res. Symp.* Oxford, 2009, pp. 273–352. DOI: 10.15376/frc.2009.1.273.
14. Varepo L. G. *Metodologiya prognozirovaniya kachestva ofsetnoy pechati s uchetom mikrogeometrii poverhnosti zapechatyvaemykh materialov. Dissertatsiya doktora tekhnicheskikh nauk* [Methodology for predicting the quality of offset printing, taking into account the microgeometry of the surface of sealed materials. Dissertation DSc (Engineering)]. Moscow, 2014. 300 p. (In Russian).
15. Abramova V. V. *Razrabotka metoda otsenki ravnomernosti formovaniya makrostruktury bumagi. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Development of a method for assessing the uniformity of the formation of the macro-structure of a paper. Dissertation PhD (Engineering)]. Arkhangelsk, 2017. 149 p. (In Russian).
16. Zilbergleit M. A., Marchenko I. V. Determination of the uniformity of the clearance of papers of various classes. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Polotsk State University]. Series B, Industry. Applied sciences, 2023, no. 2, pp. 70–74 (In Russian).
17. Zilbergleit M. A., Marchenko I. V. Method for determining the structural heterogeneity of paper. Patent BY 24404, 2023 (In Russian).
18. GOST 2789–73. Surface roughness. Parameters and characteristics. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 7 p. (In Russian).
19. Zilbergleit M. A., Marchenko I. V. Method of determining paper surface irregularity. Patent BY 24403, 2022 (In Russian).

Информация об авторах

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

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

Information about the authors

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

Marchenko Irina Valentinovna – Master of Sciences, 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

Поступила 03.07.2025