

УДК 655.3.062.63

С. К. Грудо, А. А. Коренькова

Белорусский государственный технологический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОГЕТЕРОГЕННОСТИ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ
БУМАГИ ФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Изучение влияния микрогетерогенности бумаги на качество печати имеет большое значение для понимания процессов передачи краски на поверхность бумаги, а также для оптимизации процессов печати и улучшения качества конечного продукта. Это также актуально для разработки новых типов бумаги, специально адаптированных под определенные виды печати, такие как офсетная, цифровая или сублимационная.

В данной статье исследования микрогетерогенности бумаги имеют целью выявить связь между ее структурными особенностями и способностью воспроизводить высококачественные изображения и тексты. Методология исследования базируется на следующих методах: метод микроскопического анализа в естественном свете с использованием обычного микроскопа, изучение микроструктуры бумаги в поляризованном свете, освоение микроструктуры бумаги в инфракрасной и ультрафиолетовой областях оптического спектра с применением люминесцентного анализа.

Законодатель в области бумаги и полиграфии не дает четкого определения неоднородности бумаги. Во всех нормативных документах требуется согласование неоднородности материала с потребителем, при этом не указываются способы оценки облачности.

Таким образом, изучение данной проблемы является актуальным и перспективным направлением в области научных исследований и инноваций при производстве бумаги и печати.

Ключевые слова: микрогетерогенность, структурная неоднородность бумаги, полиграфическая бумага, высококачественные изображения, оценка бумаги, физический метод.

Для цитирования: Грудо С. К., Коренькова А. А. Определение микрогетерогенности полиграфической бумаги физическими методами // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2024. № 2 (285). С. 21–27.

DOI: 10.52065/2520-6729-2024-285-3.

S. K. Grudo, A. A. Koren'kova

Belarusian State Technological University

**DETERMINATION OF THE MICROHETEROGENICITY
OF PRINTING PAPER BY PHYSICAL METHODS**

The study of the effect of microheterogeneity of paper on print quality is of great importance for understanding the processes of ink transfer to the paper surface, as well as for optimizing printing processes and improving the quality of the final product. It is also relevant for the development of new types of paper specially adapted for certain types of printing, such as offset, digital or sublimation.

In this article, research on the microheterogeneity of paper aims to identify the relationship between the structural features of paper and its ability to reproduce high-quality images and texts. The research methodology includes: method of microscopic analysis in natural light using a conventional microscope, studying paper microstructure in polarized light, mastering paper microstructure in the infrared and ultraviolet regions of the optical spectrum using luminescent analysis.

The legislator in the field of paper and printing does not give a clear definition of paper heterogeneity. All regulatory documents require coordination of the heterogeneity of the material with the consumer, while not specifying methods for assessing cloud cover.

Thus, the study of this problem is an urgent and promising direction in the field of scientific research and innovation in the production of paper and printing.

Keywords: microheterogeneity, structural heterogeneity of paper, printing paper, high-quality images, paper evaluation, physical method.

For citation: Grudo S. K., Koren'kova A. A. Determination of the microheterogeneity of printing paper by physical methods. *Proceedings of BSTU, issue 4, Print- and Mediatechnologies*, 2024. no. 2 (285), pp. 21–27 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-6729-2024-285-3.

Введение. В современном мире роль бумаги в различных сферах деятельности, включая печать и издательское дело, огромна. Качество печати зави-

сит от многих факторов, одним из которых является микрогетерогенность структуры бумаги. Микрогетерогенность представляет собой неоднородность

бумаги на микроуровне: различия в плотности, толщине, пористости и упругости на разных участках листа [1].

Структурная неоднородность бумаги – это важное явление, которое влияет на ее физические и механические свойства. Бумага, будучи пористым материалом, обладает различной степенью плотности, толщины и упругости в разных областях своей структуры. Эта неоднородность может быть вызвана множеством факторов производства, таких как тип и качество используемых волокон, методы обработки и прессования, а также условия сушки. В данном контексте изучение структурной неоднородности бумаги имеет большое значение для оптимизации ее производства и улучшения качества конечного продукта.

Для производителей бумаги контроль неоднородности (облачности) является важной задачей, поскольку качество бумаги напрямую влияет на качество конечного продукта и удовлетворенность потребителей. Использование специальных технологий и методов производства позволяет снижать облачность бумаги и обеспечивать высокое качество печати.

Основная часть. Микроструктура бумаги играет важную роль при ее изготовлении и последующем использовании. Она в значительной мере обуславливает прочностные, деформационные, оптические и другие свойства бумаги. Вместе с химическими свойствами волокон и вспомогательных веществ микроструктура определяет ход процессов смачивания, адсорбции, впитывания, набухания, окрашивания, прилипания, имеющих место при изготовлении, переработке и применении бумажной продукции. Важное значение имеет микроструктура поверхности некоторых видов бумаги, особенно при печати, ламинировании, металлизации.

Свойства микроструктуры определяют прежде всего физическим строением волокнистых компонентов пространственной структуры бумажного листа. В соответствии с современными представлениями, полученными в результате глубокого и всестороннего изучения строения целлюлозных волокон с привлечением новейших методов исследования, их структура включает в себя следующие основные элементы [2–4]:

- очень тонкую первичную стенку толщиной 0,1–0,5 мкм, состоящую в основном из веществ нецеллюлозного происхождения (в частности, пектиновых);

- вторичную стенку толщиной для целлюлозы различных типов 1–10 мкм, которая содержит главным образом целлюлозу (до 95% по весу);

- узкий центральный канал, заполненный белковыми веществами.

Морфологические особенности волокон определяются их происхождением (древесина, хлопок, рами и т. д.). Так, древесное целлюлозное

волокно отличается от хлопкового более толстой вторичной стенкой, содержащей значительное количество лигнина. У вторичной стенки в свою очередь четко различаются наружный, средний и внутренний слои. Внутренний слой называют иногда третичной стенкой. В слоях вторичной стенки фибриллы ориентированы различным образом. В наружном слое для них характерна поперечная ориентация относительно оси волокна, а в среднем, наиболее толстом слое, фибриллы направлены почти параллельно его оси.

В настоящее время предложено несколько модификаций строения элементарной кристаллической ячейки целлюлозы, в частности гексагональной и орторомбическая.

Известно несколько теорий тонкой внутренней структуры целлюлозных фибрилл, однако наибольшее распространение получила теория Фрей-Вислинга. Согласно этой теории, целлюлоза состоит из кристаллических (высокоориентированных) и аморфных (неориентированных) участков, не имеющих четко выраженных границ. Переход от микрокристаллитов (мицелл) к аморфным участкам слабо ориентированных целлюлозных цепей происходит постепенно. В зависимости от вида целлюлозы относительные соотношения микрокристаллитов и аморфных областей, а также степень ориентации целлюлозных цепей в микрокристаллитах меняется.

Размеры микрокристаллитов, вероятно, не превышают 100 А по толщине (или диаметру) при длине 300–800 А и более. Считается, что мицеллы имеют все же плоскую форму. Отдельные исследователи предполагают, что размеры микрокристаллитов могут достигать размеров макромолекулы целлюлозы, т. е. микрона [5–6].

Рентгенографические и электронно-микроскопические способы исследования показали, что длинные оси микрокристаллитов должны лежать параллельно осям фибрилл, видимых в световом микроскопе. Ориентация микрофибрилл соответствует ориентации микрокристаллитов. Аналогичные результаты получены и при измерениях двойного лучепреломления целлюлозы.

Таковы в общих чертах современные представления о строении волокнистых компонентов структуры бумаги. Структура многих синтетических волокон (полиэтилен, нейлон, полиакрилат и др.) характеризуется наличием элементов (фибрилл), аналогичных природным волокнам. Толщина микрофибрилл как у природных, так и у синтетических волокон укладывается в диапазон 100–300 А. Это позволяет предположить, что фибриллярные элементы волокон различного происхождения являются термодинамически устойчивыми состояниями их внутренней структуры.

Агрегирование первичных компонентов структуры бумаги в процессе ее изготовления

определяется в значительной мере характером связей между волокнами. Основным видом связи между волокнами, как и между компонентами внутри волокна, является водородная связь. Она проявляется в случаях, когда расстояние между взаимодействующими элементами не превышает 2,5 А.

Во взаимодействии и связывании волокон важную роль играют связи, обусловленные силами трения, Ван-дер-Ваальса, капиллярной контракции и др. Большое значение имеет не только тип связи с точки зрения ее механизма, но и конфигурация, а также структура связей между волокнистыми компонентами. Считается, что области контактного связывания между волокнами составляют зоны, площадь которых 100 мкм². Их называют зонами полного оптического контакта. Такие зоны можно хорошо различить под обычным световым микроскопом [7–9].

Наряду со связями, дающими полный оптический контакт, наблюдаются случаи образования контактных зон с захватом третьего волокна или фибриллы, а также с захватом двух и более элементов. Рост степени помола, повышение эластичности волокон, мокрое прессование, сушка, каландрирование способствуют усилению связанности волокон и фибрилл в бумажном листе [10].

Микроструктура бумаги характеризуется ориентацией и фракционным распределением структурных компонентов в объеме бумаги. Фракционное распределение волокнистых компонентов по толщине бумаги определяется явлением фильтрации при отливе и связано со степенью фибриллирования, исходным фракционным составом массы и длиной волокна, применением вспомогательных веществ, типом оборудования, режимом изготовления и другими причинами. Для ручных отливок характерно отсутствие преимущественной ориентации волокон, а мелкие волокна сосредоточены в толще листа ниже его середины. Волокнистым листам, полученным на круглосеточных машинах, присуща выраженная ориентация волокон в структуре бумаги. При прямоточном режиме работы ванны наибольшая ориентация и повышенное содержание мелковолокнутой фракции свойственно средней части листа. При противоточном режиме преимущественная ориентация наблюдается во всех слоях листа, а содержание мелочи уменьшается от верхней к сеточной его стороне.

Для плоскосеточных машин характерна выраженная ориентация с сеточной стороны. По мере приближения к верхней стороне ориентация в машинном направлении (вдоль отлива) уменьшается, но растет содержание мелкой волокнутой фракции. Преимущественная ориентация волокон по всей толщине листа присуща тонким видам бумаги, изготавливаемым на плос-

косеточных машинах, например конденсаторной [11–13].

Важной характеристикой бумаги выступает тонкая структура и разносторонность ее поверхности, обусловленная статистическим распределением первичных структурных элементов (волокон, наполнителей и др.), а также неоднородностями строгой периодичности. Микроструктура поверхности во многом определяет характер химического и физического взаимодействия бумаги с окружающей средой и некоторые свойства бумаги, в частности способность к воспроизведению качественного отпечатка, прочности покрытий, надежности электроизоляционных изделий [14].

Методы, применяемые для изучения микроструктуры бумаги [15]:

– метод микроскопического анализа в естественном свете с обычного микроскопа. Широкое применение обычного оптического микроскопа для изучения микроструктуры бумаги в естественном свете обусловлено его сравнительной простотой конструкции, доступностью для широкого использования и наглядностью результатов наблюдений. Оптический микроскоп позволяет увеличить недоступные невооруженному глазу элементы сложной структуры материала, в частности бумаги и целлюлозных волокон;

– изучение микроструктуры бумаги в поляризованном свете. В основе действия оптических поляризующих устройств лежат два физических явления: двойное лучепреломление света в анизотропных веществах, имеющих кристаллическую структуру, и поляризация света на границе раздела двух сред с различными показателями преломления. Поскольку расположение волокон в структуре бумаги различно по толщине, данным способом можно вычислить ее послойную ориентацию;

– освоение микроструктуры бумаги в инфракрасной и ультрафиолетовой областях оптического спектра с применением люминесцентного анализа. Данный анализ при малых углах может быть использован для изучения строения кристаллической решетки и наполнителей в готовой бумаге, так как их кристаллическая структура обуславливает появление на рентгенограмме своих характерных дифракционных рефлексов;

– электронно-микроскопические исследования. Современные представления о микроскопическом и субмикроскопическом строении целлюлозных и других волокон получены в значительной степени на основе электронномикроскопических исследований.

В табл. 1–3 представлены оценки неоднородности разных сортов бумаги: газетной 790, Clairefontaine и «Снегурочка».

Таблица 1

Результаты исследования газетной бумаги 790

Вид опыта	Номер образца	Основные показатели			
		Min	Max	Mean	Std deviation
На просвет (микроскоп)	1	3	251	123,4	44,011
	2	1	255	115,1	43,317
	3	8	245	105,3	34,494
	4	2	245	109,9	30,473
	Среднее значение				
На отражение (микроскоп)	1	0	255	58,13	41,7
	2	0	255	62,61	39,363
	3	0	255	49,83	40,394
	4	0	255	67,71	39,992
	5	0	255	59,16	35,019
Среднее значение					39,294
Свет белый донный	1	155	255	223,7	19,549
	2	138	255	224,1	19,298
	3	127	255	221,3	20,838
	4	128	255	212,3	22,083
	Среднее значение				
Свет левый косопadaющий	1	75	255	157,1	35,139
	2	68	255	149,1	33,791
	Среднее значение				
Свет правый косопadaющий	1	78	255	156,3	33,451
	2	76	255	153,3	31,603
	Среднее значение				

Таблица 2

Результаты исследования бумаги Clairefontaine

Вид опыта	Номер образца	Основные показатели			
		Min	Max	Mean	Std deviation
На просвет (микроскоп)	1	24	251	117,8	32,194
	2	40	255	142,5	37,093
	3	33	254	138,5	34,826
	4	0	249	130,2	42,663
	Среднее значение				
На отражение (микроскоп)	1	0	255	105,1	31,447
	2	0	255	77,52	39,731
	3	5	255	92,52	36,362
	4	0	255	59,72	37,011
	5	0	255	70,84	34,507
Среднее значение					35,812
Свет белый донный	1	146	254	211,5	15,834
	2	142	254	200,4	16,062
	3	136	255	206,7	16,152
	4	149	253	200,9	14,802
Среднее значение					15,713
Свет левый косопadaющий	1	120	254	193,1	21,139
	2	97	255	175,3	22,076
	Среднее значение				
Свет правый косопadaющий	1	107	253	178,3	20,016
	2	119	255	196,2	21,338
	Среднее значение				

Таблица 3

Результаты исследования офисной бумаги «Снегурочка»

Вид опыта	Номер образца	Основные показатели			
		Min	Max	Mean	Std deviation
На просвет (микроскоп)	1	23	252	129,9	39,922
	2	21	255	133,3	43,926
	3	12	249	137,7	41,105
	4	9	251	120,9	43,627
	Среднее значение				
На отражение (микроскоп)	1	8	255	116,7	42,534
	2	25	255	127,0	44,959
	3	21	255	108,6	36,488
	4	13	255	109,6	40,149
	5	20	255	117,6	38,042
	Среднее значение				
Свет белый донный	1	81	254	205,7	16,665
	2	145	255	211,7	16,19
	3	122	254	199,2	15,626
	4	141	253	199,9	16,21
	Среднее значение				
Свет левый косопадающий	1	93	254	161,2	25,851
	2	87	255	203,8	37,155
	Среднее значение				
Свет правый косопадающий	1	100	255	193,4	28,832
	2	93	255	203,9	35,401
	Среднее значение				

В качестве объектов исследований были выбраны следующие виды бумаги:

а) газетная бумага 790: масса – 45 г/м²; плотность – 0,53 г/см³; разрывная длина в машинном направлении – менее 2800 м; абсолютное сопротивление раздиранию в поперечном направлении – не менее 176 мН; непрозрачность – не менее 91%; влажность – 8,0 ± 2,0%. Производство: Республика Беларусь, завод газетной бумаги «Аснова»;

б) бумага Clairefontaine: масса – 80 г/м²; белизна – 170 %; толщина листа бумаги – 160 ± 1 мкн. Производство: Франция;

в) офисная бумага «Снегурочка»: масса 80 г/м²; белизна – 100%; толщина листа бумаги – 100 ± 1 мкн; яркость – 96%; непрозрачность – 91%. Производство: Российская Федерация, ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК».

Офисная бумага относится к классу бумаги С. Она подходит для монохромных лазерных и струйных принтеров, копировальных и факсимильных аппаратов.

Бумага изготовлена из чистой целлюлозы с применением технологии ECF – это гарантирует белоснежную поверхность и высокую яркость листа. Бумага отбеливается без использования элементарного хлора. В процессе отбеливания применяется озон.

При производстве бумаги используется целлюлозное волокно без древесной массы, что обеспечивает долговременное сохранение ее оптических и физико-механических свойств.

«Снегурочка» может долго храниться на складе, поскольку упакована в специальный влагостойкий комбинированный материал, защищающий ее при транспортировке.

Как следует из полученных данных, наибольший разброс стандартного отклонения наблюдается при анализе на просвет в офисной бумаге «Снегурочка». Стандартное отклонение составляет 42,1. Затем следует газетная бумага 790, стандартное отклонение которой – 38,1.

Наилучшими показателями при анализе на просвет через микроскоп обладает бумага Clairefontaine – 36,7.

При исследовании испытуемых образцов на просвет (белый донный свет) на первом месте оказалась бумага Clairefontaine – 15,7, а затем следует бумага марки «Снегурочка» – 16,2. Последнее место занимает газетная бумага – 20,4.

При анализе бумаги на отражение на микроскопе наиболее качественной следует признать бумагу Clairefontaine с показателем 35,8. Значение неоднородности газетной бумаги составляет 39,3, «Снегурочка» – 40,4.

При анализе бумаги на отражение с косопадающим светом наилучшими свойствами обладает бумага Clairefontaine DCP (20,7 и 21,6). Далее следует офисная бумага «Снегурочка» (31,5 и 32,12), а затем газетная бумага 790 (32,5 и 34,5).

Установлено, что наибольшая корреляция наблюдается между левым косопадающим и

правым косопадющим светом, отражение правым и левым косопадющим светом и просветом с левым и правым косопадющим светом. Остальные корреляции незначительные.

Заключение. В статье были использованы современные методы цифровой фиксации, основанные на анализе проходящего и косопадющего света.

Применение такого подхода может принести практическую пользу при выпуске бумаги на бумагоделательной машине за счет корректировки работы машины, связанной с неоднородностью бумажного полотна. В полиграфии использование названного подхода позволит уменьшить количество брака, связанного с разным восприятием краски бумагой.

Список литературы

1. Иванов С. Н. Технология бумаги: учеб. пособие. 3-е изд. М.: Школа бумаги, 2006. 696 с.
2. Крылатов Ю. А., Ковернинский И. Н. Проклейка бумаги. М.: Лесная пром-сть, 1987. 288 с.
3. Сараева Л. М., Иванов С. Н. Влияние солей и органических веществ, растворенных в воде, на проклейку бумаги // Бумажная промышленность. 1970. № 1. С. 4–5.
4. Гордон И. В., Манусова Н. Б., Смирнов Д. Н. Оптимизация химико-технологических систем очистки промышленных сточных вод. Л.: Химия, 1977. 176 с.
5. Фляте Д. М. Свойства бумаги: учеб. пособие. 5-е изд. СПб.: Лань, 2012. 384 с.
6. Андрейченко В. Л. Структура и механические свойства бумажного листа. Л.: Лесная пром-сть, 1970. 133 с.
7. Махонин А. Г. Размол массы и проклейка бумаги // Бумажная промышленность. 1972. № 2. С. 11–13.
8. Розен Б. Я. Чудесный мир бумаги. М.: Лесная пром-сть, 1976. 184 с.
9. Пузырев С. С., Смирнова Е. Г., Храмов Ю. В. Основные технологические расчеты по бумагоделательным машинам: учеб. пособие. СПб.: СПбГЛТА, 2003. 42 с.
10. Исаева Л. М., Половинкин В. Л. Исследование деформационных свойств листовых материалов на целлюлозной основе при сжатии // ЦНИИБ. 1977. № 5. С. 75–81.
11. Каган М. Р., Фляте Д. М. Влияние наполнителей на пористость бумаги // Бумажная промышленность. 1976. № 8. С. 10–11.
12. Poschman F. Polyethylenimine and its using in paper industry // Pulp and Paper Magazine of Canada. 1968. No. 8. P. 58–64.
13. Хинчин Я. Г. Теория и практика проклейки бумаги. М.: Гослестехиздат, 1935. 132 с.
14. Сквернюков П. Ф. Слово о бумаге. М.: Моск. рабочий, 1980. 224 с.
15. Ерыхов Б. П., Фляте Д. М. О чувствительности физико-механических критериев оценки макроструктуры бумаги // Лесной журнал. Архангельск. 1977. № 5. С. 119–124.

References

1. Ivanov S. N. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology]. Moscow, Shkola bumagi Publ., 2006. 696 p. (In Russian).
2. Krylatov Yu. A., Koverninskiy I. N. *Prokleyka bumagi* [Paper sizing]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 288 p. (In Russian).
3. Saraeva L. M., Ivanov S. N. The effect of salts and organic substances dissolved in water on paper sizing. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper industry], 1970, no. 1, pp. 4–5 (In Russian).
4. Gordon I. V., Manusova N. B., Smirnov D. N. *Optimizatsiya khimiko-tekhnologicheskikh sistem ochistki promyshlennykh stochnykh vod* [Optimization of chemical and technological systems for industrial wastewater treatment]. Leningrad, Khimiya Publ., 1977. 176 p. (In Russian).
5. Flyate D. M. *Svoystva bumagi* [Paper Properties]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2012. 384 p. (In Russian).
6. Andreychenko V. L. *Struktura i mekhanicheskiye svoystva bumazhnogo lista* [Structure and mechanical properties of a paper sheet]. Leningrad, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1970. 133 p. (In Russian).
7. Makhonin A. G. Mass grinding and paper sizing. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper industry], 1972, no. 2, pp. 11–13 (In Russian).
8. Rozen B. Ya. *Chudesnyy mir bumagi* [The wonderful world of paper]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 184 p. (In Russian).
9. Puzyrev S. S., Smirnova E. G., Khramov Yu. V. *Osnovnyye tekhnologicheskiye raschety po bumagodelatel'nyim mashinam* [Basic technological calculations for paper machines]. St. Petersburg, SPbGLTA Publ., 2003. 42 p. (In Russian).
10. Isaeva L. M., Polovinkin V. L. Investigation of the deformation properties of cellulose-based sheet materials under compression. *TsNIIB* [TSNIIB], 1977, no. 5, pp. 75–81 (In Russian).
11. Kagan M. R., Flyate D. M. The effect of fillers on the porosity of paper. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper industry], 1976, no. 8, pp. 10–11 (In Russian).

12. Poschman F. Polyethylenimine and it's using in paper industry. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 1968, no. 8, pp. 58–64.
13. Khinchin Ya. G. *Teoriya i praktika prokleyki bumagi* [Theory and practice of paper sizing]. Moscow, Goslestekhizdat Publ., 1935. 132 p. (In Russian).
14. Skvernyukov P. F. *Slovo o bumage* [A word about paper]. Moscow, Moskovskiy rabochiy Publ., 1980. 224 p. (In Russian).
15. Erykhov B. P., Flyate D. M. On the sensitivity of physico-mechanical criteria for evaluating the macrostructure of paper. *Lesnoy zhurnal. Arkhangel'sk* [Arkhangelsk Forest Magazine], 1977, no. 5, pp. 119–124 (In Russian).

Информация об авторах

Грудо Сергей Казимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры полиграфического оборудования и систем обработки информации. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Grudo@belstu.by

Коренькова Анастасия Александровна – магистр, старший преподаватель кафедры полиграфического оборудования и систем обработки информации. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: korenkova@belstu.by

Information about the authors

Grudo Sergey Kazimirovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Printing Equipment and Information Processing Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Grudo@belstu.by

Koren'kova Anastasiya Aleksandrovna – Master, Senior Lecturer, the Department of Printing Equipment and Information Processing Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: korenkova@belstu.by

Поступила 21.06.2024