

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)
УДК 676.054.6
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-472-479>

Поступила в редакцию 02.07.2021
Received 02.07.2021

**И. И. Исмаилов, Х. А. Бабаханова, А. А. Садриддинов,
М. А. Бабаханова, Д. Ш. Саидова**

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, Узбекистан

ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БУМАГИ, СОДЕРЖАЩЕЙ КАРБОНАТ КАЛЬЦИЯ

Аннотация. Исследованы поверхностные и оптические свойства бумаги из карбоната кальция, полученной в условиях Узбекско-китайского предприятия Fergana stone paper company (Узбекистан), с целью выявления возможности ее использования на полиграфических предприятиях для печати многокрасочной продукции с применением традиционных способов печати. По результатам количественной оценки качества поверхности косвенным методом Бека можно утверждать, что образец бумаги № 1 обладает гладкостью, как у мелованной бумаги (750–1500 с), образцы бумаги № 2 и 3, как у бумаг каландрированных, которые можно рекомендовать для изданий с повышенными требованиями к качеству. Меньшие значения шероховатости Ra и небольшие углубления, выраженные затемнением на топографических АСМ-изображениях, характеризовали достаточную однородность и плотность структуры. Также выявлено, что поверхность образцов бумаги обладает высокой способностью зеркально отражать падающий свет, так как процент отражения поверхностей такой же, как у мелованных бумаг. Образцы бумаги имеют белизну порядка 90 % и нет оттенка, так как разница между максимальным и минимальным значениями коэффициентов отражения на белой стопе не больше 10 %. Исследуемые образцы бумаги можно без ограничений рекомендовать для двусторонней печати, так как показатель светонепроницаемости больше 92 %.

Ключевые слова: бумага, карбонат кальция, гладкость, шероховатость, глянец, белизна, светонепроницаемость бумаги

Для цитирования. Поверхностные и оптические свойства бумаги, содержащей карбонат кальция / И. И. Исмаилов [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук. – 2021. – Т. 57, № 4. – С. 472–479. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-472-479>

I. I. Ismailov, Kh. A. Babakhanova, A. A. Sadriddinov, M. A. Babahanova, D. Sh. Saidova

Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Uzbekistan

SURFACE AND OPTICAL PROPERTIES OF CALCIUM CARBONATE PAPER

Abstract. The article investigates the surface and optical properties of calcium carbonate paper obtained at the Uzbek-Chinese enterprise Fergana stone paper company (Uzbekistan), in order to identify the possibility of their use at printing enterprises for printing multicolor products using traditional printing methods. According to the results of a quantitative assessment of the surface quality by the indirect Beck method, we can say that paper sample 1 has a smoothness like coated paper (750–1500 s), paper samples 2 and 3 – like calendered paper, so that these paper samples can be recommended for prints with increased quality requirements. Smaller values of roughness Ra and small depressions, expressed by darkening in the topographic AFM images, characterized sufficient homogeneity and density of the structure. It was also revealed that the surface of the paper samples has a high ability to specularly reflect the incident light, since the percentage of surface reflection is similar to that of coated papers. Samples of paper have a whiteness of about 90 % and do not have a tint, since the difference between the maximum and minimum values of the reflection coefficients on a white stack is not more than 10 %. The tested paper samples can be recommended without restrictions for double-sided printing, since the opacity index is more than 92 %.

Keywords: paper, calcium carbonate, smoothness, roughness, gloss, protection, opacity of paper

For citation. Ismailov I. I., Babakhanova Kh. A., Sadriddinov A. A., Babahanova M. A., Saidova D. Sh. Surface and optical properties of calcium carbonate paper. *Vestsi Natsyyanal' nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2021, vol. 57, no. 4, pp. 472–479 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-472-479>

Введение. Качество воспроизведения изображения на оттисках зависит от полноты контакта поверхности бумаги и печатной формы при традиционных способах печати. Из-за неровностей рельефа поверхности бумаги нарушается контакт с формой, в результате не пропечатываются или пропечатываются не полностью отдельные печатные элементы изображения [1]. Для обеспечения полного контакта и повышения контрастности и четкости изображения необходимо использование бумаги с ровной и микрошероховатой поверхностью.

Одним из наиболее распространенных и повсеместно применяемых косвенных методов для количественной оценки качества поверхности является метод определения гладкости по Беку (ГОСТ 12795-89 (ИСО 5627-84)). Этот метод основан на измерении расхода воздуха между измерительным элементом прибора и поверхностью анализируемого материала, в результате получаем усредненную (брутто) характеристику состояния поверхности исследуемого материала.

К прямым методам количественного анализа поверхности материалов можно отнести метод сканирующей электронной микроскопии [2, 3] и конфокальной оптической микроскопии [4, 5]. Преимуществом этих методов является высокоточное отображение параметров шероховатости в нанометровом диапазоне, а недостатком – дороговизна исследований и необходимость в высококвалифицированных специально подготовленных кадрах. Использование доступного и простого сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) Solver HV исключает недостатки вышеперечисленных прямых методов.

Материалы и методы. В данной работе использовали косвенный метод определения гладкости по Беку и прямой с применением метода атомно-силовой микроскопии, достаточно универсальный и дающий объективную характеристику рельефу поверхности с высоким разрешением. Объект исследования – поверхностные и оптические свойства бумаги из карбоната кальция.

Известно, что с 1970-х годов природный и химически осажденный карбонат кальция (РСС) стали применять в бумажной промышленности в качестве наполнителя и отбеливателя, заменяя каолин [6]. Увеличение процента использования карбоната кальция в бумажном производстве обеспечивает снижение потребления дефицитной древесной целлюлозы и оптических отбеливателей и направлено на решение экологической проблемы [7].

В конце 1990-х годов тайваньская компания Taiwan Lung Meng Technology Co (TLM) впервые разработала технологию производства бумаги из карбоната кальция [8, 9]. В Японии «каменную» бумагу производят под брендом Limex компания ТВМ [10]. Среди стран СНГ производство «каменной» бумаги только осваивается и первопроходцем стал Узбекистан.

В 2020 г. в Ферганской области Республики Узбекистан создано Узбекско-Китайское предприятие Fergana stone paper company, которое специализируется по производству бумаги из карбоната кальция в сочетании с нетоксичным полимером HDPE, мощностью 9 тыс. т в год [11, 12].

Для выявления и подтверждения возможности использования бумаги из карбоната кальция на полиграфических предприятиях с целью получения многокрасочных оттисков с высокой графической точностью как при традиционных, так и при современных цифровых технологиях печати возникает научный и практический интерес к комплексному изучению ее поверхностных и оптических свойств.

Экспериментальная часть. В работе исследовали поверхностные и оптические свойства образцов бумаги, в состав которых входит 80 % карбоната кальция и 20 % HDPE, массой 100 г/м² и два образца массой 90 г/м², полученной в условиях Узбекско-Китайского предприятия Fergana stone paper company.

Для оценки качества поверхности исследуемой бумаги определили ее гладкость при использовании пневматического прибора Бека. Давление воздуха при измерении равно 1 атм, давление прижима поверхности бумаги к полированному кольцу площадью 10 см² – 1 кгс/см². Время выдерживания бумаги до начала испытания под этой нагрузкой – 1 мин. За показатель гладкости принято время прохождения 10 мл воздуха, которое является переменной величиной, зависящей не только от гладкости поверхности, но и от изменения во время испытания. Полученные значения гладкости отражены в табл. 1.

Для получения объективной оценки поверхности бумаги из карбоната кальция в нанометровом диапазоне использовали метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) [13–17]. При помощи

Таблица 1. Показатели гладкости бумаги из карбоната кальция

Table 1. Smoothness factors of calcium carbonate paper

Показатель	Образец № 1=100 г/м ²	Образец № 2=90 г/м ²	Образец № 3=90 г/м ²
Гладкость, с (лицевая сторона)	1126	230	165
Гладкость, с (сеточная сторона)	733	138	84

сканирующего зондового микроскопа Solver HV (ЗАО NT-MDT, Зеленоград, Россия) получили параметры шероховатости Ra и высокоточное отображение профиля перепадов высот рельефа поверхности бумаги (табл. 2, рис. 2–4).

Качество печатной продукции, а именно контрастность изображения, точность цветопередачи, при многокрасочной печати зависит от оптических свойств, к которым можно отнести глянец, белизну бумаги и светонепроницаемость. Для их определения использовали существующие стандартные методики [18]. Полученные результаты сравнивали с нормативными данными ГОСТ 9094-89 «Бумага для печати офсетная» для выявления возможности использования бумаги на полиграфических предприятиях для печатания [19, 20].

Обсуждение результатов. На основе полученных данных исследуемых образцов бумаги (табл. 1) сделаны следующие выводы: гладкость с лицевой стороны больше, в отличие от сеточной, что наблюдается у всех образцов бумаги. Данные образцы бумаги можно рекомендовать для изданий с повышенными требованиями к качеству, так как показатели гладкости образца бумаги № 1, как у мелованной бумаги (750–1500 с), у образцов бумаги № 2 и 3 – как у бумаг каландрированных. На рис. 1 показаны фотографии поверхностей каждого из образцов бумаги,

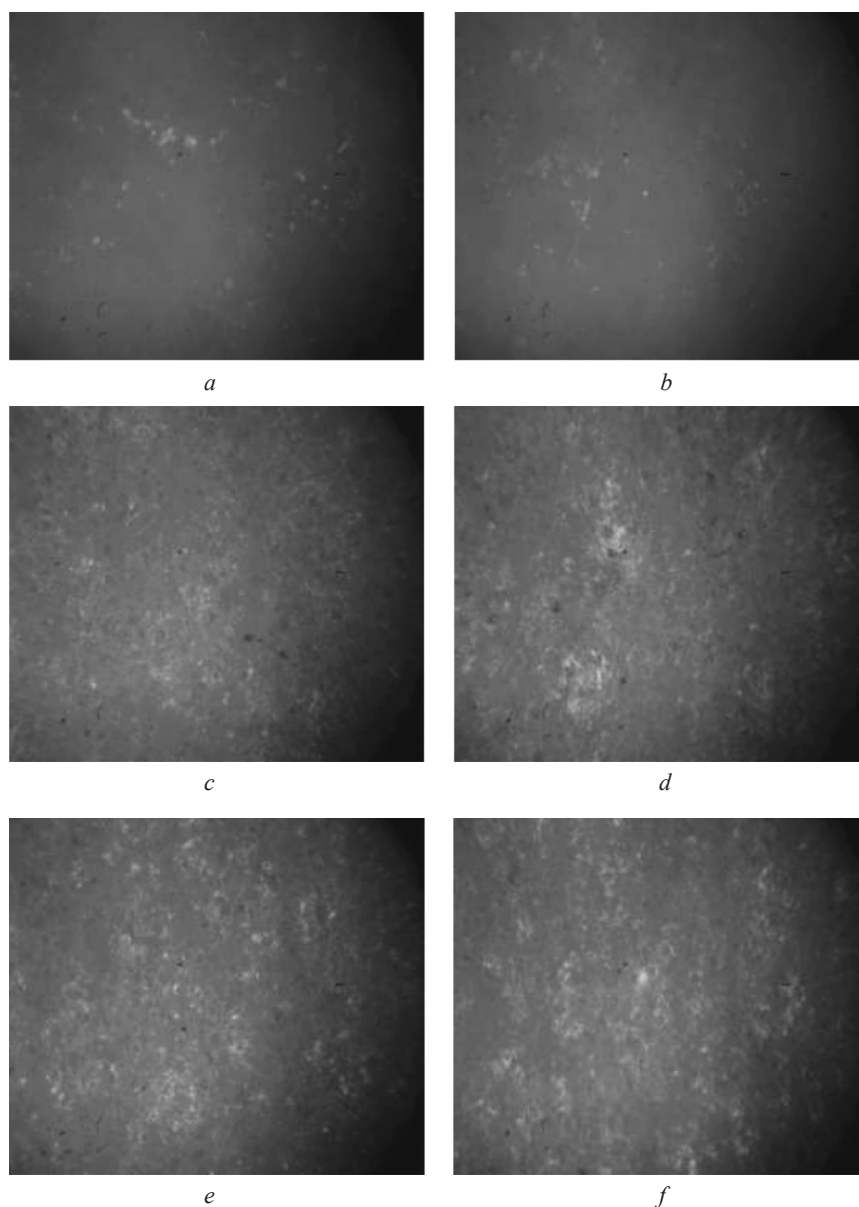


Рис. 1. Поверхность бумаги под микроскопом: *a, b* – образец № 1; *c, d* – образец № 2; *e, f* – образец № 3

Fig. 1. Paper surface under the microscope: *a, b* – sample № 1; *c, d* – sample № 2; *e, f* – sample № 3

полученных на электронном микроскопе под увеличением, где хорошо видно значительное отличие поверхностей образцов, что обуславливает различие в показателях гладкости, определенных косвенным методом на приборе Бека.

При использовании прямого метода исследования поверхности на сканирующем зондовом микроскопе Solver HV рельеф поверхности образца измеряли при размере диаметра 450 мкм и диапазоне от 100 00 до 4 мкм². При взаимодействии кантилевера производства ЗАО NT-MDT (Зеленоград, Россия) с поверхностью бумаги действует сила, которая меняется в зависимости от различия в высоте рельефа. Изменение силы, действующей на кантилевер, влияет на величину изгиба, которая фиксируется с помощью лазера, в результате профилируется прямое изображение микрогеометрии поверхности в масштабе 3D.

Для расчета параметров шероховатости по диагонали кадра проводили разрез (рис. 2–4, а). Полученные с помощью метода АСМ данные обработаны с помощью специальной встроенной программы и рассчитаны параметры шероховатости *Ra*, согласно требованиям ГОСТ 2789-73, значения которых приведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры шероховатости образцов бумаги по данным АСМ

Table 2. Roughness parameters of paper samples according to AFM data

Образец бумаги	Размер шероховатости <i>Ra</i> образцов для кадров, нм		
	750 нм	1500 нм	3500 нм
Образец № 1 (лицевая сторона)	15,75	35,95	61,19
Образец № 2 (лицевая сторона)	19,34	40,23	67,11
Образец № 3 (лицевая сторона)	25,12	44,05	73,22

Прямое изображение профиля поверхности на топографических изображениях взяты при использовании трех кадров: 750, 1500 и 3500 нм. Как видно из табл. 2, на разных кадрах даны отличные друг от друга значения шероховатости. Объясняется это тем, что если кадр попал на одно волокно, то значения низкие, если же на сплетение нескольких волокон, то параметр шероховатости выше. Расхождения между параметрами будут меньше при условии, если кадр попадает на фибрированное волокно с большей удельной поверхностью.

Прямое изображение профиля поверхности на топографических изображениях получены в режиме постоянной амплитуды (рис. 2–4, б), где высота профиля передана цветом: чем выше находится

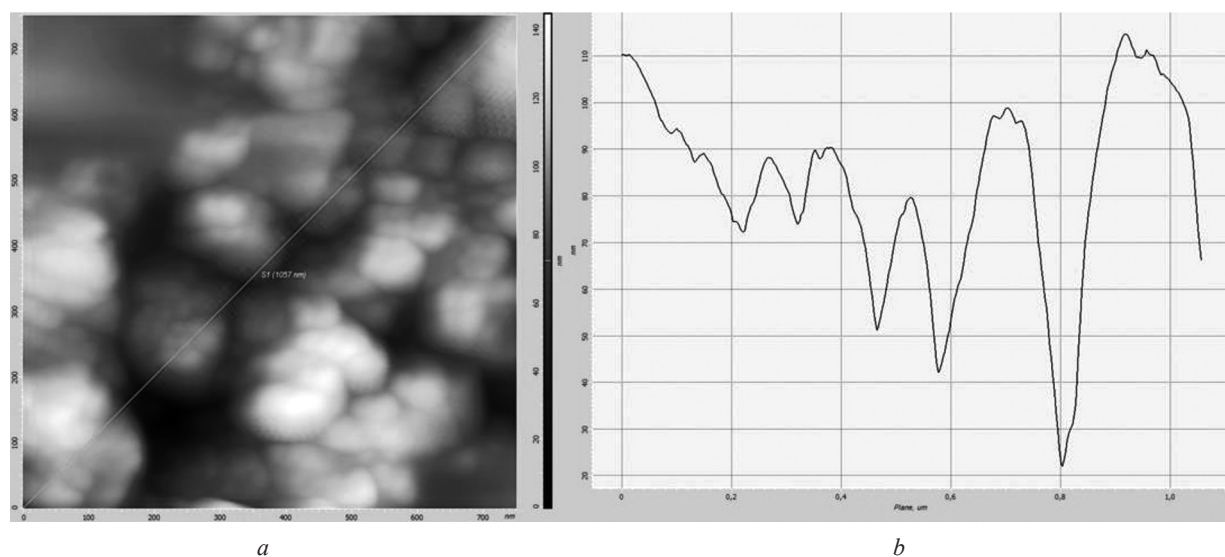


Рис. 2. Поверхность образца бумаги № 1 (при кадре 750 нм): а – топографическое АСМ-изображение; б – профиль рельефа выделенной линии поверхности

Fig. 2. Surface of paper sample № 1 (at a frame of 750 nm): а – topographic AFM image; б – relief profile of the selected surface line

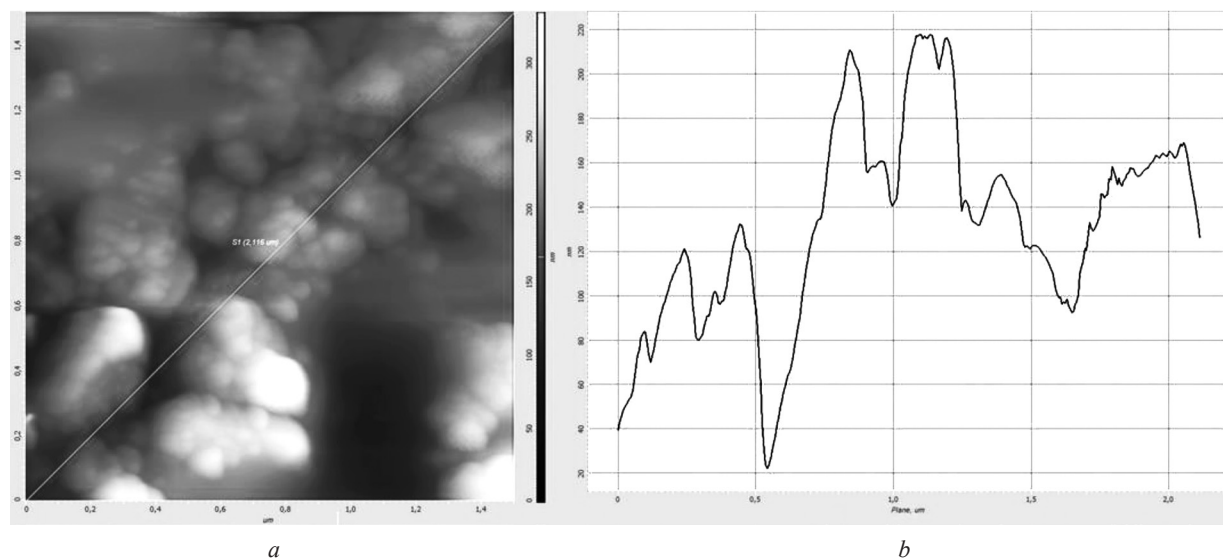


Рис. 3. Поверхность образца бумаги № 1 (при кадре 1500 нм): *a* – топографическое АСМ-изображение; *b* – профиль рельефа выделенной линии поверхности

Fig. 3. Surface of paper sample № 1 (at a frame of 1500 nm): *a* – topographic AFM image; *b* – relief profile of the selected surface line

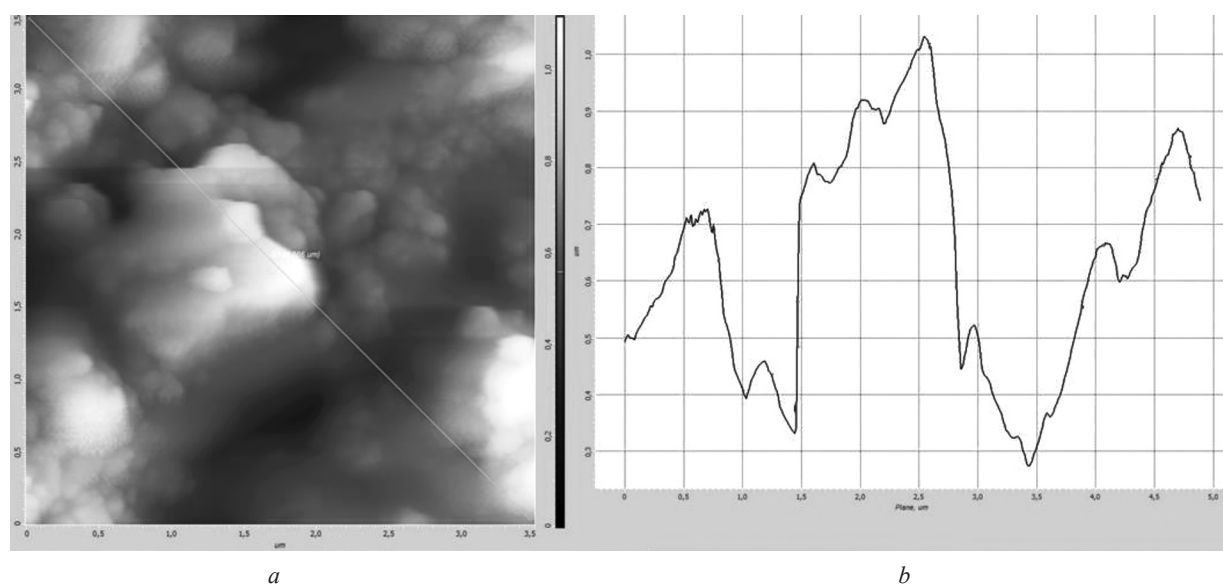


Рис. 4. Поверхность образца бумаги № 1 (при кадре 3500 нм): *a* – топографическое АСМ-изображение; *b* – профиль рельефа выделенной линии поверхности

Fig. 4. Surface of paper sample № 1 (at a frame of 3500 nm): *a* – topographic AFM image; *b* – relief profile of the selected surface line

деталь рельефа, тем она светлее. Небольшие углубления, выраженные затемнением на топографических АСМ-изображениях (рис. 2–4, *a*), характеризовали достаточную однородность и плотность структуры, образец бумаги № 1 обладает меньшими значениями шероховатости Ra .

Один из оптических свойств – лоск (глянец) (ГОСТ 12921-80) бумаги контролировали фотоэлектрическим фотометром, оптическая система осветителя которого освещала испытуемый образец параллельным пучком света под углом $(45,0 \pm 0,5)^\circ$. В качестве эталона поверхности, зеркально отражающей лучи, использовали черное полированное стекло, цвет которого исключает рассеянное отражение, а полированная поверхность обеспечивала зеркальное, принятое за 100 %-ное, отражение. Замеры глянца проводили в нескольких точках на каждой из сторон, затем рассчитывали среднее значение, результаты которого приведены в табл. 3.

Таблица 3. Показатели глянца образцов бумаги из карбоната кальция

Table 3. Gloss parameters of calcium carbonate paper samples

Показатель	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Глянец (лицевая сторона)	0,93	0,57	0,67
Глянец (сеточная сторона)	0,8	0,53	0,6

Сравнивая полученные значения глянца с нормативными данными, можно сказать, что поверхность образца бумаги № 1 обладает высокой способностью зеркально отражать падающий свет, процент отражения поверхностей образцов бумаги № 2 и 3, как у мелованной (40–70 %).

Способность материала отражать падающий свет равномерно и рассеянно по всей области видимого спектра (380–720 нм) характеризуется белизной бумаги. Материал считают белым, если он отражает более 50 % падающего света. Белизна определена с помощью фотоэлектрического метода, основанного на измерении в синей области спектра при эффективной длине волны 457 нм. Количественно белизна определена в качестве коэффициента отражения на белой стопе за синим светофильтром (табл. 4) [18].

Таблица 4. Оптические показатели бумаги из карбоната кальция

Table 4. Optical parameters of calcium carbonate paper

Показатель	Образец № 1			Образец № 2			Образец № 3		
	светофильтр			светофильтр			светофильтр		
	синий	зеленый	красный	синий	зеленый	красный	синий	зеленый	красный
Оптическая плотность	0,05	0,04	0,04	0,053	0,047	0,04	0,031	0,047	0,043
Коэффициент отражения, %	89,13	91,21	91,20	88,44	89,81	91,21	89,13	89,81	91,20

По данным табл. 4 можно сделать вывод, что каждый из образцов бумаги имеет белизну порядка 90 %. Для определения наличия оттенка бумаги рассчитывали разницу между максимальным и минимальным значениями коэффициентов отражения на белой стопе. Если разница между этими значениями больше 10 %, то бумага имеет оттенок. Табл. 4 демонстрирует, что для каждого из образцов бумаги такого отличия в коэффициентах отражения за различными зонами не наблюдается – это значит, что образцы полученных бумаг не имеют оттенка. Все это будет способствовать цветопередаче без искажений при воспроизведении многокрасочного изображения.

Способность материала пропускать свет – светонепроницаемость определяли как отношение коэффициента отражения на черной стопе бумаги за синим светофильтром к коэффициенту отражения на белой стопе за синим светофильтром, переведенный в проценты по следующей формуле:

$$H = \frac{\rho_c^{\text{чер}}}{\rho_c^{\text{бел}}} \times 100 \%$$

Результаты, полученные денситометрическим методом по светонепроницаемости, представлены в табл. 5.

Таблица 5. Светонепроницаемость образцов бумаги

Table 5. Opacity of paper samples

Наименование показателей	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Оптическая плотность синей зоны на черной подложке	0,05	0,06	0,053
Коэффициент отражения, %	89,12	87,09	88,44
Светонепроницаемость, %	100	98,48	99,24

Как видно из табл. 5, исследуемые образцы бумаги можно без ограничений рекомендовать для двусторонней печати, так как показатель светонепроницаемости $H \geq 92 \%$. Для тонких бумаг данный показатель снижают до 88 %.

Выводы. Данные образцы бумаги из карбоната кальция можно рекомендовать для изданий с повышенными требованиями к качеству, так как показатели гладкости образца бумаги № 1, как у мелованной бумаги (750–1500 с), у образцов бумаги № 2 и 3 – как у бумаг каландрированных. Меньшие значения шероховатости Ra и небольшие углубления, выраженные затемнением на топографических АСМ-изображениях, характеризовали достаточную однородность и плотность структуры бумаги.

Поверхность образцов бумаги обладает высокой способностью зеркально отражать падающий свет; процент отражения поверхностей, как у мелованных бумаг. Образцы бумаги имеют белизну порядка 90 % и нет оттенка, так как разница между максимальным и минимальным значениями коэффициентов отражения на белой стопе не больше 10 %. Исследуемые образцы бумаги можно без ограничений рекомендовать для двусторонней печати, так как показатель светонепроницаемости больше 92 %.

Список использованных источников

1. Шахкельдян, Б. Н. Полиграфические материалы / Б. Н. Шахкельдян, Л. А. Загаринская. Бумага и переплетные материалы. – М.: Мир книги, 2001. – Ч. 1. – 104 с.
2. Chinga, G. Structural studies of LWC paper coating layers using SEM and image analysis techniques: Thesis submitted in partial fulfilment of the doktor ingenior degree [Electronic Resource]: Doctoral thesis / G. Chinga. – February 2002. – Mode of access: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/248044>. – Date of access: 06.07.2020.
3. Investigation of the porous structure of cellulosic substrates through confocal laser scanning microscopy / D. Yang [et al.] // *Biotechnology and Bioengineering*. – 2013. – Vol. 110, N 11. – P. 2836–2845. <https://doi.org/10.1002/bit.24958>
4. Breuninger, S. White Paper: A high-quality Raman microscope can be recognized by these 5 criteria [Electronic Resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/329184103_White_Paper_A_high-quality_Raman_microscope_can_be_recognized_by_these_5_criteria. – Date of access: 06.07.2020.
5. AFM Observation of Coated Paper and Printed Surface [Electronic Resource] // Shimadzu. – Mode of access: <http://www.shimadzu.com/an/surface/spm/data/appli/paper.html>. – Date of access: 06.07.2020.
6. Микронизированный порошок карбоната кальция [Электронный ресурс] // АРТИН ПУДР ПАРС. Режим доступа: <https://www.artincarb.com/products/micronized-calcium-carbonate-powders/?lang=ru>
7. Пузырев, С. С. Развитие технологии для производства бумаги и картона [Электронный ресурс] / С. С. Пузырев // ЛеспромИнформ. – 2006. – № 2. – Режим доступа: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1526>
8. Юань Мин Чао. Тайваньская компания производит бумагу из мраморной крошки [Электронный ресурс] / Юань Мин Чао // Коммерсантъ. – 2006. Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/3020213>
9. Бумага из камня и вторсырья: технологии будущего? [Электронный ресурс] // It World. – 2020. – Режим доступа: <https://www.it-world.ru/news-company/releases/151142.html>
10. Бумага из известняка // Гелиос. – Режим доступа: <https://heliosnsk.ru/raznoe/bumaga-iz-izvestnyaka.html>
11. В Узбекистане нацелены на производство «каменной» бумаги [Электронный ресурс] // Народное слово. – 2019. – Режим доступа: <https://xs.uz/ru/post/v-uzbekistane-natseleny-na-proizvodstvo-kamennoj-bumagi>
12. В Фергане начнут выпускать бумагу из камня [Электронный ресурс] // ХДР. – 2019. – Режим доступа: <https://podrobno.uz/cat/uzbekistan-i-kitay-klyuchi-ot-budushchego/v-fergane-sozdano-uzbeksco-kitayskoe-predpriyatie/>
13. Жуков, М. В. Контроль структуры различных видов бумаги методом атомно-силовой микроскопии / М. В. Жуков // Науч.-техн. вестн. информац. технологий, механики и оптики. – 2014. – № 1 (89). – С. 44–49.
14. Прямой метод контроля качества поверхности мелованных видов бумаги / А. А. Кирсанкин [и др.] // Химия раст. сырья. – 2016. – № 4. – С. 157–161. <https://doi.org/10.14258/jcprgm.2016041415>
15. Изучение топографии материалов на целлюлозной основе методом атомно-силовой микроскопии / А. А. Кирсанкин [и др.] // Лесной вестник. – 2018. – Т. 22, № 1. – С. 84–93. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-1-88-93>
16. Paper – based planar reaction arrays for printed diagnostics / A. Maattanen [et al.] // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2011. – Vol. 160, N 1. – P. 1404–1412. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2011.09.086>
17. Исследование шероховатости бумаги из вторичного сырья методом атомно-силовой микроскопии / Х. А. Бабаханова [и др.] // Науч.-техн. вестн. информац. технологий, механики и оптики. – 2020. – Т. 20, № 5. – С. 661–666. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2020-20-5-661-666>
18. Бумага и картон. Метод определения белизны: ГОСТ 30113-94 (ИСО 2470-77). – Минск: Издательство стандартов, 1996. – 11 с.
19. Бумага для печати офсетная: ГОСТ 9094-89. – Минск: Издательство стандартов, 1989. – 12 с.
20. Тягунов, А. Г. Материаловедение: лаб. практикум / А. Г. Тягунов, С. А. Воробьев, С. П. Арапова. – Екатеринбург, 2009. – 49 с.

References

1. Shakhkeldyan B. N., Zagarinskaya L. A. *Polygraphic materials: Paper and binding materials*. Part 1. Moscow, Mir knigi Publ., 2001. 104 p. (in Russian).
2. Chinga G. *Structural studies of LWC paper coating layers using SEM and image analysis techniques: Doctoral thesis*. February 2002. Available at: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/248044> (accessed 06 July 2020).

3. Yang D., Moran-Mirabal J. M., Parlange J., Walker L. P. Investigation of the porous structure of cellulosic substrates through confocal laser scanning microscopy. *Biotechnology and Bioengineering*, 2013, vol. 110, no. 11, pp. 2836–2845. <https://doi.org/10.1002/bit.24958>
4. Breuninger S. *White Paper: A high-quality Raman microscope can be recognized by these 5 criteria*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/329184103_White_Paper_A_high-quality_Raman_microscope_can_be_recognized_by_these_5_criteria. (accessed 06 July 2020).
5. AFM Observation of Coated Paper and Printed Surface. *Shimadzu*. Available at: <http://www.shimadzu.com/an/surface/spm/data/appli/paper.html> (accessed 06 July 2020).
6. Micronized calcium carbonate powder. *ARTIN PUDR PARS*. Available at: <https://www.artincarb.com/products/micronized-calcium-carbonate-powders/?lang=ru> (in Russian).
7. Puzyrev S. S. Development of technology for the production of paper and cardboard. *LespromInform*, 2006, no. 2. Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1526> (in Russian).
8. Yuan Ming Chao. Taiwanese company produces paper from marble chips. *Kommersant.ru*. 2006. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/3020213> (in Russian).
9. Paper made of stone and recycled materials: technologies of the future? *It World*. 2020. Available at: <https://www.it-world.ru/news-company/releases/151142.html> (in Russian).
10. Limestone paper. *Gelios*. Available at: <https://heliosnsk.ru/raznoe/bumaga-iz-izvestnyaka.html> (in Russian).
11. In Uzbekistan, the focus is on the production of stone paper. *Narodnoe slovo*. 2019. Available at: <https://xs.uz/ru/post/v-uzbekistane-natseleny-na-proizvodstvo-kamennoj-bumagi> (in Russian).
12. Fergana to start producing paper from stone. *KhDR*. 2019. Available at: <https://podrobno.uz/cat/uzbekistan-i-kitay-lyuchi-ot-budushchego/v-fergane-sozdano-uzbekske-kitayskoe-predpriyatie/> (in Russian).
13. Zhukov M. V. Structure control for different types of paper by atomic force microscopy. *Nauchno-tehnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki = Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2014, no. 1 (89), pp. 44–49 (in Russian).
14. Kirsankin A. A., Mikhaleva M. G., Nikolsky S. N., Musokhrapova A. V., Stovbun S. V. Direct method of surface quality control of coated types of paper. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja = Chemistry of plant raw material*, 2016, no. 4, pp. 157–161 (in Russian). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2016041415>
15. Kirsankin A. A., Mikhaleva M. G., Politenkova G. G., Nikolsky S. N., Stovbun S. V. Studying the topography of materials on cellulose basis using atomic force microscopy. *Lesnoi vestnik = Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 84–93 (in Russian). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-1-88-93>
16. Maattanen A., Fors D., Wand S., Valtakari D., Ihlainen P. Paper – lased planar reaction arrays for printed diagnostics. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2011, vol. 160, no. 1, pp. 1404–1412. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2011.09.086>
17. Babakhanova H. A., Galimova Z. K., Abdunazarov M. M., Ismoilov I. I. Roughness study of paper made from secondary raw materials by atomic force microscopy. *Nauchno-tehnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki = Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2020, vol. 20, no. 5, pp. 661–666 (in Russian). <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2020-20-5-661-666>
18. State Standard 30113-94 (ISO 2470-77). *Paper and cardboard. Method for determining whiteness*. Minsk, Publishing house of standards, 1996. 11 p. (in Russian).
19. State Standard 9094-89. *Offset printing paper*. Minsk, Publishing house of standards, 1989. 12 p. (in Russian).
20. Tyagunov A. G., Vorobiev S. A., Arapova S. P. *Materials science: laboratory practice*. Yekaterinburg, 2009. 49 p. (in Russian).

Информация об авторах

Исмаилов Икромжон Иброхим угли – докторант. Наманганский технологический институт (ул. Касансай, 7, 160115, Наманган, Республика Узбекистан). E-mail: ikromzhon.ismailov@bk.ru

Бабаханова Халима Абишевна – д-р техн. наук, профессор. Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (ул. Шохжахон, 5, 100100, Ташкент, Республика Узбекистан). E-mail: halima300@inbox.ru

Садриддинов Акмал Абдулло угли – докторант. Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (ул. Шохжахон, 5, 100100, Ташкент, Республика Узбекистан). E-mail: sadriddinovakmal0777@mail.ru

Бабаханова Мадина Авазовна – д-р хим. наук. Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (ул. Шохжахон, 5, 100100, Ташкент, Республика Узбекистан). E-mail: madina89@mail.ru

Саидова Дилдора Шасабировна – ст. преподаватель. Ташкентский химико-технологический институт (пр-т Навои, 32, 100011, Ташкент, Республика Узбекистан). E-mail: saidova1972@mail.ru

Information about the authors

Ikromjon Ib. Ismailov – Doctoral Student. Namangan Technological Institute (7, Kasansay str., 160115, Namangan, Republic of Uzbekistan). E-mail: ikromzhon.ismailov@bk.ru

Khalima Ab. Babakhanova – D. Sc. (Engineering), Professor. Tashkent Institute of Textile and Light Industry (5, Shokhjakhon str., 100100, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: halima300@inbox.ru

Akmal Ab. Sadriddinov – Doctoral Student. Tashkent Institute of Textile and Light Industry (5, Shokhjakhon str., 100100, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: sadriddinovakmal0777@mail.ru

Madina Av. Babakhanova – Ph. D. (Chemistry), Tashkent Institute of Textile and Light Industry (5, Shokhjakhon str., 100100, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: madina89@mail.ru

Dildora Sh. Saidova – Doctoral Student. Tashkent Chemical-Technological Institute (32, Navoi str., 100011, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: saidova1972@mail.ru