

УДК 676.22.017; 676.262. 539.211

doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-661-666

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ БУМАГИ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Х.А. Бабаханова^а, З.К. Галимова^а, М.М. Абдуназаров^а, И.И. Исmoilов^б

^а Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, 100100, Узбекистан

^б Наманганский инженерно-технологический институт, Наманган, 160115, Узбекистан

Адрес для переписки: z.galimova8282@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 12.08.20, принята к печати 10.09.20

Язык статьи — русский

Ссылка для цитирования: Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исmoilов И.И. Исследование шероховатости бумаги из вторичного сырья методом атомно-силовой микроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. № 5. С. 661–666. doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-661-666

Аннотация

Рассмотрены вопросы высокоточного контроля параметров выпускаемой бумажной продукции, в составе которой вторичное сырье. Предложен метод атомно-силовой микроскопии для исследования шероховатости бумаги. При использовании сканирующего зондового микроскопа Solver HV выполнена визуализация полученных топографических изображений поверхности каждого вида исследуемой бумаги, определена средняя шероховатость перепадов высот для каждого типа бумаги. Результаты сопоставлены с требованиями государственного стандарта и международными рекомендациями. Показано, что применение сканирующей зондовой микроскопии позволяет проводить экспресс-контроль параметров целлюлозной бумажной продукции при ее производстве. При экспресс-анализе шероховатости методом атомно-силовой микроскопии появляется возможность целенаправленного управления технологическим процессом и создания новых видов бумажной продукции с заданными свойствами, обеспечивающими графическую точность печати без потерь мелких деталей изображения.

Ключевые слова

структура бумаги, вторичное сырье, целлюлоза, шероховатость, атомно-силовая микроскопия, профиль поверхности

doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-661-666

ROUGHNESS STUDY OF PAPER MADE FROM SECONDARY RAW MATERIALS BY ATOMIC FORCE MICROSCOPY

H.A. Babakhanova^а, Z.K. Galimova^а, M.M. Abdunazarov^а, I.I. Ismoilov^б

^а Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, 100100, Uzbekistan

^б Namangan Institute of Engineering and Technology, Namangan, 160115, Uzbekistan

Corresponding author: z.galimova8282@mail.ru

Article info

Received 12.08.20, accepted 10.09.20

Article in Russian

For citation: 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. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2020, vol. 20, no. 5, pp. 661–666 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-661-666

Abstract

The paper considers the issues of high-precision parameter control of the produced paper products with secondary raw materials as a component. A method of atomic force microscopy is proposed for paper roughness study. Visualization of the obtained topographic images of each type of paper surface under study was performed with the use of a Solver HV scanning probe microscope; the average roughness of the height differences for each type of paper was determined. The results were compared with the state standard requirements and international recommendations. It is shown that applying of scanning probe microscopy makes it possible to carry out parameter express control of the cellulose paper products during their production. With the roughness express analysis by atomic force microscopy it might become possible to

control purposefully the technological process and create the new types of paper products with specified properties that provide graphic printing accuracy without loss of small image details.

Keywords

paper structure, secondary raw materials, cellulose, roughness, atomic force microscopy, surface profile

Введение

Интенсивное развитие современных способов печати ведет к постоянному повышению требований к получению качественного изображения, полного воспроизведения мелких деталей при печати, что обеспечивается совокупностью свойств и структурой бумаги. Высокая белизна бумаги обеспечивает контрастность печати рекламных материалов, но уменьшает удобочитаемость книжной продукции. На поверхности бумажного листа после печати образованная пленка краски будет гладкой и однородной только тогда, когда толщина пленки превысит шероховатость поверхности бумаги. Излишняя шероховатость бумаги приводит к ослаблению цвета краски на оттиске, так как вызванные микротени отраженного белого света будут способствовать ухудшению контрастности изображения и чистоты цветового тона и плотности.

В настоящее время для оценки качества поверхности бумаги и картона во всем мире используются косвенные методы, основанные на измерении расхода воздуха между измерительным элементом прибора и поверхностью анализируемого материала. Согласно¹, шероховатость — это неровность поверхности, которая определяется по расходу воздуха. Представленное определение явно не соответствует понятию «шероховатость». Шероховатость поверхности² характеризуется ее профилем, который представляет собой ломаную линию пересечения поверхности плоскостью, перпендикулярной направлению неровностей.

Косвенные методы испытаний, такие как гладкость по Бекку³, шероховатость по Бендстону⁴, шероховатость по Шеффилду⁵, шероховатость по Паркеру (PPS)⁶, дают усредненную (брутто) характеристику состояния поверхности анализируемого материала [1, 2].

Для исследования материалов на целлюлозной основе с 2010 года начали применять прямые методы ко-

личественного анализа, а именно, метод сканирующей электронной микроскопии [3, 4] и конфокальной оптической микроскопии [5, 6]. Высокоточное отображение параметров шероховатости бумаги в нанометровом диапазоне возможно получить при использовании метода атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Перечисленные исследования довольно дорогостоящие и требуют присутствия высококвалифицированного, специально обученного персонала. Предложенный в настоящей работе метод предполагает использование доступного учебно-исследовательского сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) Solver HV (ЗАО NT-MDT, Зеленоград, Россия), не требующего для работы на нем специализированной подготовки в области методов силовой зондовой микроскопии [7–10].

Целью настоящей работы являлось изучение возможности контроля параметров выпускаемой бумажной целлюлозной продукции с помощью метода АСМ с использованием доступного и простого в использовании СЗМ Solver HV, подходящего для применения на производстве.

Принцип работы микроскопа основан на силовом взаимодействии между зондом (кантилевером) и образцом. Для регистрации силового взаимодействия в АСМ используются специальные зондовые датчики, представляющие собой упругую консоль с острым зондом на конце (рис. 1, б). Сила, действующая на зонд со стороны поверхности, приводит к изгибу консоли. Регистрируя величину изгиба, можно контролировать силу взаимодействия зонда с поверхностью и по ней можно судить о рельефе поверхности [11].

Предлагаемый в работе метод, реализуемый в приборе Solver HV, позволяет проводить экспресс-диагностику наноразмерных особенностей структуры бумаги и ее параметров, таких как шероховатость поверхности и общий уровень локальных перепадов высот.

Экспериментальные данные

Для исследования структуры бумаги использовали четыре образца бумажных отливок, полученных из отходов местного сырья Республики Узбекистан: из хлопковой целлюлозы (ХЦ) с добавлением 10, 20 и 30 % целлюлозной массы из веток тутового дерева (ТЦ), не имеющих промышленного применения после удаления листьев, которые широко используются и являются основным сырьем при производстве шелка, также используются в современной народной и научной медицине [12–15].

Для того чтобы выявить степень влияния композиционного состава, а именно, добавления целлюлозной массы из внутреннего слоя коры ветвей тутовника на поверхностные свойства бумаги, проводили измерения шероховатости поверхности бумаги на микроскопе при температуре $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении 760 мм рт. ст. без кондиционирования образцов.

¹ ГОСТ 30115-95 (ИСО 8791-1-86) Бумага и картон. Определение шероховатости/гладкости (методы с применением пропускания воздуха). Введ. 01.01.2000. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. 7 с.

² ГОСТ 2789-1973 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. Введ. 01.01.75. М.: Стандартиформ, 2006. 7 с.

³ ГОСТ 12795-89 (ИСО 5627) Бумага и картон. Метод определения гладкости по Бекку. М.: Изд-во стандартов, 1989. 7 с.

⁴ ГОСТ 30022.2-93 (ISO 8791-2-2013) Бумага и картон. Метод определения шероховатости (методы с применением пропускания воздуха). Метод Бендстена. Минск: Изд-во стандартов, 1999. 7 с.

⁵ ISO 8791-3:2005. Бумага и картон. Определение шероховатости/гладкости (методы определения воздухопроницаемости). Ч. 3. Метод Шеффилда.

⁶ DIN ISO 8791-4:2008-05. Paper and board – Determination of roughness/smoothness. Part 4. Printsunf method (ISO 8791-4:2007).

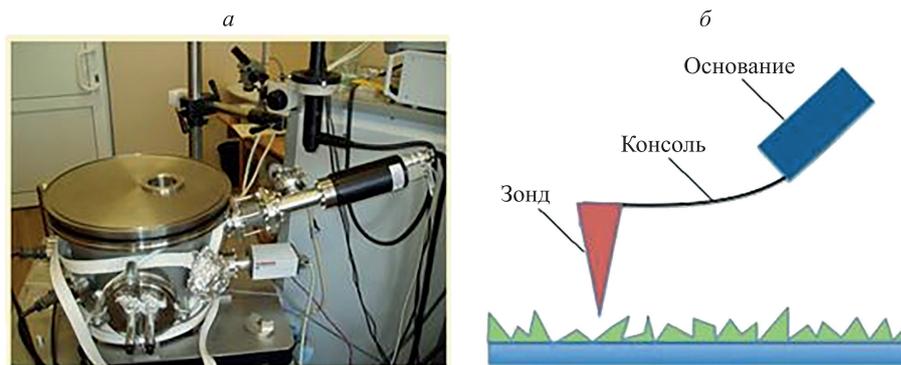


Рис. 1. Внешний вид (а) и схематическое изображение зондового датчика атомно-силового микроскопа (б)

Таблица. Параметры шероховатости (Ra , нм) поверхности образцов бумаги

Номер образца бумаги	Состав бумаги ХЦ:ТЦ, %	Размер кадров, нм		
		750	1500	3500
1	100:0	26,95	32,61	67,54
2	90:10	12,69	17,64	26,82
3	80:20	18,25	57,01	60,91
4	70:30	9,76	20,81	42,39

Образец бумаги помещали на поверхность стандартной кремниевой пластины, используемой в микроэлектронной промышленности. Далее подготовленный образец устанавливали в атомно-силовой микроскоп.

Измерения рельефа поверхности образца выполняли в области значений размеров диаметра поля зрения 450 мкм в диапазоне от 10 000 до 4 мкм². В работе использованы стандартные кантилеверы производства ЗАО NT-MDT (Зеленоград, Россия). Собственные частоты кантилеверов находились в диапазоне 110–180 кГц, радиус закругления зонда — 10 нм.

Атомно-силовой микроскоп обеспечил возможность получения прямого изображения рельефа поверхности в масштабе 3D. Обработка полученных результатов с применением специального встроенного программного обеспечения позволила рассчитать параметр Ra в полном соответствии с требованиями¹. На топографических изображениях, полученных в режиме постоянной амплитуды, высота профиля передана цветом: чем выше находится деталь рельефа, тем она светлее.

Для каждого образца, чтобы проверить корреляцию между шероховатостью и характерным размером волокна бумаги, были взяты три кадра: 750, 1500 и 3500 нм. Получение расхождения между значениями шероховатости на разных кадрах, объясняется тем, что одни значения (более мелкие) отражают шероховатость одного единственного волокна, а другие (более крупные) измерены на пачке из нескольких волокон. Чем крупнее волокно, тем меньше вероятность попадания в кадр пачки волокон, тем меньше расхождение между пара-

метрами шероховатости. Для измерения шероховатости по диагонали кадра проводился разрез. По профилю поверхности вдоль линии разреза программное обеспечение прибора АСМ позволило рассчитать параметры шероховатости поверхности в точном соответствии с выбранным ГОСТ.

При обработке данных АСМ рассматривали выделенный профиль через наивысшую и наинизшую точки исследуемой поверхности. Длина отрезка прямой, на котором оценивали профиль поверхности, превышает длину базовой линии, предусмотренной в ГОСТ¹.

Представленные на рис. 2 и в таблице результаты сканирования поверхности образцов бумаги демонстрируют преимущества и достоинства метода АСМ для контроля качества целлюлозно-бумажной продукции для полиграфии.

Из таблицы видно, что наименьшей шероховатостью поверхности обладает образец бумаги 2, в состав которого добавлено 10 % целлюлозной массы из веток тутовника, затем образец бумаги 4, т. е. при 30 % добавлении вторичного сырья. Остальные образцы по шероховатости поверхности практически не различаются.

На топографических изображениях, полученных в режиме постоянной амплитуды, высота профиля передана цветом: чем выше находится деталь рельефа, тем она светлее (рис. 2, а, в, д). Видно, что структура достаточно однородна, встречаются небольшие углубления (показаны затемнением). Чтобы правильно измерить шероховатость поверхности проведена линия разреза через самую высокую и самую низкую точки на поверхности. Зеленая линия — линия разреза, по которой измерили шероховатость поверхности, профиль которой представлен на рис. 2, б, г, е.

¹ ГОСТ 2789-1973. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. Введ.01.01.75. М.: Стандартинформ, 2006. 7 с.

Обсуждение результатов

В работе определена средняя шероховатость перепадов высот для четырех образцов бумаги в соответствии с требованиями ГОСТ 2789-73 и международной рекомендации по стандартизации ИСО Р 468. Выявлено, что

наименьшей шероховатостью поверхности обладает образец бумаги 2 при 10 % добавлении целлюлозной массы из веток тутовника ($Ra = 26,82$ нм), шероховатость образца бумаги 4 (при 30 % добавлении целлюлозной массы из веток тутовника) составил 42,39 нм. Самыми

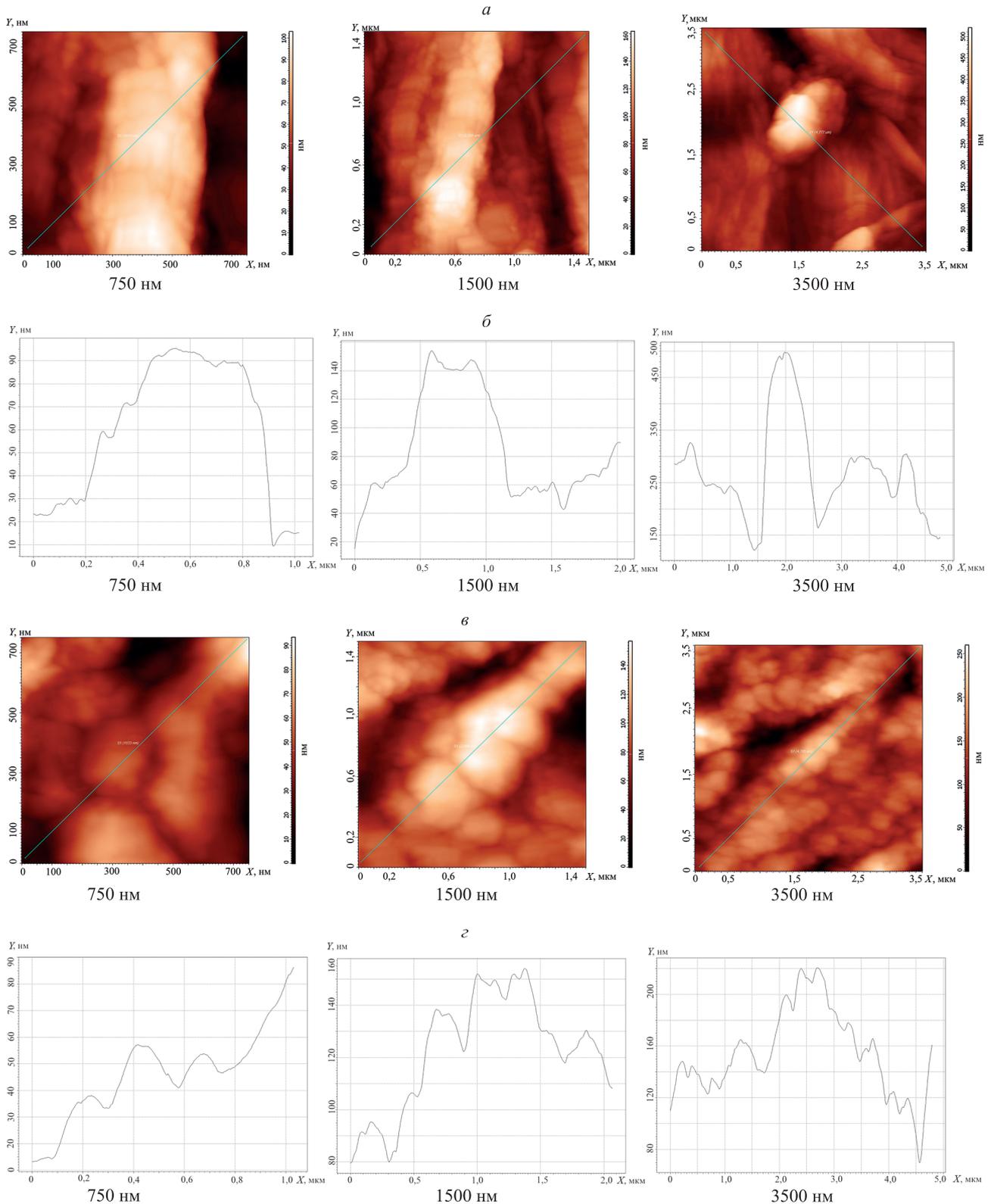


Рис. 2. Топографическое АСМ-изображение поверхности образцов бумаги: 1 (а), 2 (в), 3 (д); профиль выделенной линии поверхности, проведенной через наивысшую и наименьшую точки рассматриваемой области (б, г, е) для кадров размером: 750, 1500 и 3500 нм

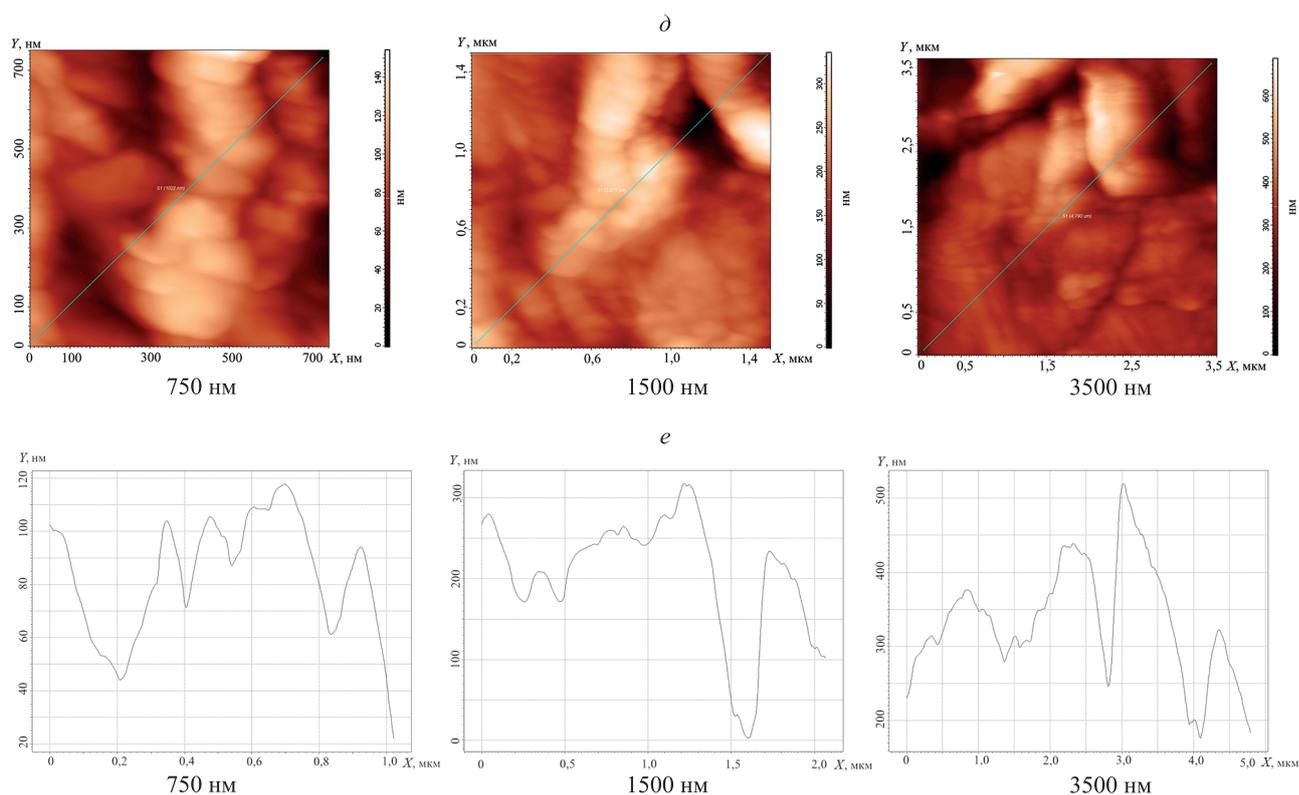


Рис. 2. Продолжение

высокими параметрами шероховатости характеризуется образец бумаги 3 — с 20 % добавлением целлюлозной массы из веток тутовника ($Ra = 60,91$ nm).

На топографических изображениях всех образцов бумаги с добавлением целлюлозной массы из коры веток тутового дерева явно видны выступы круглой или овальной формы, плотно расположенные друг к другу.

Таким образом, исследования поверхностной структуры бумаги методом АСМ позволили получить высокоточную диагностику структуры и параметров шероховатости образцов в наноразмерном масштабе, что невозможно при использовании косвенных методов диагностики поверхности, основанных на измерении расхода воздуха и дающих усредненную (брутто) характеристику состояния поверхности анализируемого материала. Показана возможность применения доступного и простого в использовании на производстве прибора, позволяющего проводить высокоточный экспресс-контроль параметров и свойств выпускаемой бумаги.

Литература

1. Кирсанкин А.А., Михалева М.Г., Политенкова Г.Г., Никольский С.Н., Стывбун С.В. Изучение топографии материалов на целлюлозной основе методом атомно-силовой микроскопии // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2018. Т. 22. № 1. С. 84–93. doi: 10.18698/2542-1468-2018-1-88-93
2. Михалева М.Г., Втиурин Д.Н., Никольский С.Н., Стывбун С.В., Жолнерович Н.В., Герман Н.А., Николайчик И.В. Атомно-силовая микроскопия – современный метод определения шероховатости целлюлозно-бумажной продукции // Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора В.М. Резникова «Химия и химическая

Заклучение

На основании выполненных исследований показана возможность проведения высокоточной диагностики поверхности структуры бумаги с добавлением вторичного сырья методом атомно-силовой микроскопии. Исходя из полученных данных и того, что образцы были отличны друг от друга композиционным составом, можно сделать вывод, что среди исследуемых образцов бумаги наименьшей шероховатостью поверхности обладает образец бумаги 2, т. е. при добавлении 10 % целлюлозной массы из веток тутовника. Используя результаты экспресс-анализа шероховатости методом атомно-силовой микроскопии, можно управлять и создавать новые виды бумажной продукции с заданными печатными свойствами, обеспечивающими графическую точность без потерь мелких деталей изображения.

References

1. Kirsankin A.A., Mikhaleva M.G., Politenkova G.G., Nikolskiy S.N., Stovbun S.V. Studying the topography of materials on cellulose basis using atomic force microscopy. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 84–93. (in Russian). doi: 10.18698/2542-1468-2018-1-88-93
2. Mikhaleva M.G., Vtiurina D.N., Nikolskii S.N., Stovbun S.V., Zholnerovich N.V., German N.A., Nikolaichik I.V. Atomic force microscopy as an advanced method for roughness determination of pulp and paper products. *Materials of International Scientific and Technical Conference dedicated to the 100th anniversary of Professor V.M. Reznikov's birth: "Chemistry and chemical technology for*

- технология переработки растительного сырья». Минск, 10-12 октября 2018 г. 2018. С. 126–130.
- Список продукции материалов для струйной печати Lomond [Электронный ресурс]. URL: <http://printer.ucoz.ua/Lomond-2005.pdf>, свободный. (дата обращения: 06.07.2020).
 - Chinga G. Structural studies of LWC paper coating layers using SEM and image analysis techniques: Thesis submitted in partial fulfilment of the doktor ingeniør degree / Norwegian University of Science and Technology Department of Chemical Engineering. February 2002, 122 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/248044>, свободный. (дата обращения: 06.07.2020).
 - 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. V. 110. N 11. P. 2836–2845. doi: 10.1002/bit.24958
 - Breuninger S. White Paper: A high-quality Raman microscope can be recognized by these 5 criteria [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/329184103_White_Paper_A_high-quality_Raman_microscope_can_be_recognized_by_these_5_criteria, свободный. Яз. англ. (дата обращения: 06.07.2020).
 - Shimadzu – AFM Observation of Coated Paper and Printed Surface [Электронный ресурс]. URL: <http://www.shimadzu.com/an/surface/srpm/data/appli/paper.html>, свободный. Яз. англ. (дата обращения: 06.07.2020).
 - Määttänen A., Fors D., Wang S., Valtakari D., Ihalainen P., Peltonen J. Paper-based planar reaction arrays for printed diagnostics // *Sensors and Actuators, B: Chemical*. 2011. V. 160. N 1. P. 1404–1412. doi: 10.1016/j.snb.2011.09.086
 - 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.
 - Кирсанкин А.А., Михалева М.Г., Никольский С.Н., Мусохранова А.В., Стовбун С.В. Прямой метод контроля качества поверхности мелованных видов бумаги // *Химия растительного сырья*. 2016. № 4. С. 159–163. doi: 10.14258/jcprm.2016041415
 - Миронов В.Л. Сканирующая зондовая микроскопия твердотельных наноструктур: диссертация на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. Нижний Новгород, 2009. 395 с.
 - Бабджанова З.Х., Кароматов И.Д., Жумаев Б.З., Алымова Д.К. Шелковица, тут: применение в древней, современной народной и научной медицине (обзор литературы) // *Молодой ученый*. 2015. № 7. С. 256–266.
 - Розен Б.Я. Чудесный мир бумаги. М.: Лесная промышленность, 1986. 124 с.
 - Савельева Л.Ф. Целебные растения вокруг нас. Волгоград: Издатель, 2018. 376 с.
 - Шерышева Ю.В., Сентурова Л.Г., Касимова Н.Б. Краситель из плодов тутового дерева // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 5-2. С. 301–305.
 - processing of plant raw materials*”, Minsk, October 10-12, 2018, pp. 126–130. (in Russian)
 - Product list of Lomond ink-jet printing materials*. Available at: <http://printer.ucoz.ua/Lomond-2005.pdf> (accessed: 06.07.2020). (in Russian)
 - Chinga G. *Structural studies of LWC paper coating layers using SEM and image analysis techniques*: Thesis submitted in partial fulfilment of the doktor ingeniør degree / Norwegian University of Science and Technology Department of Chemical Engineering. February 2002, 122 p. Available at: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/248044> (accessed: 06.07.2020).
 - 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. doi: 10.1002/bit.24958
 - 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: 06.07.2020).
 - Shimadzu — AFM Observation of Coated Paper and Printed Surface*. Available at: <http://www.shimadzu.com/an/surface/spm/data/appli/paper.html> (accessed: 06.07.2020).
 - Määttänen A., Fors D., Wang S., Valtakari D., Ihalainen P., Peltonen J. Paper-based planar reaction arrays for printed diagnostics. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 2011, vol. 160, no. 1, pp. 1404–1412. doi: 10.1016/j.snb.2011.09.086
 - Zhukov M.V. Structure control for different types of paper by atomic force microscopy. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2014, no. 1(89), pp. 44–49. (in Russian)
 - Kirsankin A.A., Mikhaleva M.G., Nikolskii S.N., Musohranova A.V., Stovbun S.V. Direct method of quality control surface coated types of paper. *Chemistry of plant raw material*, 2016, no. 4, pp. 157–161. (in Russian). doi: 10.14258/jcprm.2016041415
 - Mironov V.L. *Scanning probe microscopy of solid-state nanostructures*: dissertation for the degree of doctor of physics and mathematics. Nizhny Novgorod, 2009, 395 p. (in Russian)
 - Babadzhanova Z.Kh., Karomatov I.D., Zhumaev B.Z., Alymova D.K. Mulberry, sycamine: application in ancient, modern folk and scientific medicine (literature review). *Young scientist*, 2015, no. 7, pp. 256–266. (in Russian)
 - Rozen B.Ya. *Wonderful world of paper*. Moscow, Lesnaja promyshlennost' Publ., 1986, 124 p. (in Russian)
 - Saveleva L.F. *Healing plants around us*. Volgograd, Izdatel Publ., 2018, 376 p. (in Russian)
 - Sherysheva Yu.V., Senturova L.G., Kasimova N.B. The dye from the fruit of the mulberry tree. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2018, no. 5-2, pp. 301–305. (in Russian)

Авторы

Бабханова Халима Абишевна — доктор технических наук, профессор, профессор, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, 100100, Узбекистан, ORCID ID: 0000-0002-6956-2824, halima300@inbox.ru

Галимова Зулфия Камилловна — ассистент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, 100100, Узбекистан, ORCID ID: 0000-0003-0958-8579, z.galimova8282@mail.ru

Абдуназаров Мансур Мехридинович — старший преподаватель, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, 100100, Узбекистан, ORCID ID: 0000-0002-0099-8312, abdunazarov.1977@mail.ru

Исмоилов Икромжон Икромжон угли — ассистент, Наманганский инженерно-технологический институт, Наманган, 160115, Узбекистан, ORCID ID: 0000-0003-0864-0056, kromzhon.ismailov@bk.ru

Authors

Halima A. Babakhanova — D.Sc, Full Professor, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, 100100, Uzbekistan, ORCID ID: 0000-0002-6956-2824, halima300@inbox.ru

Zulfiya K. Galimova — Assistant, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, 100100, Uzbekistan, ORCID ID: 0000-0003-0958-8579, z.galimova8282@mail.ru

Mansur M. Abnunazarov — Senior Lecturer, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, 100100, Uzbekistan, ORCID ID: 0000-0002-0099-8312, abdunazarov.1977@mail.ru

Ikromjon I. Ismoilov — Assistant, Namangan Institute of Engineering and Technology, Namangan, 160115, Uzbekistan, ORCID ID: 0000-0003-0864-0056, kromzhon.ismailov@bk.ru