

М.Г. Михалева<sup>1</sup>, н. с., канд. ф.-м. наук  
Д.Н. Втюрина<sup>1</sup>, с. н. с., канд. хим. наук  
С.Н. Никольский<sup>1</sup>, с. н. с., канд. хим. наук  
С.В. Стовбун<sup>1</sup>, зав. лаб., д. ф.-м. наук  
Н.В. Жолнерович<sup>2</sup>, доц., канд. техн. наук  
Н.А. Герман<sup>2</sup>, м. н. с., канд. техн. наук  
И.В. Николайчик<sup>2</sup>, ассист., канд. техн. наук

<sup>1</sup>[vtyurinad@gmail.com](mailto:vtyurinad@gmail.com), [nikolskij56@mail.ru](mailto:nikolskij56@mail.ru), [zholnerovich@mail.ru](mailto:zholnerovich@mail.ru)  
(<sup>1</sup>ИХФ РАН, г. Москва, Россия, <sup>2</sup>БГТУ, г. Минск, Беларусь)

## **АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ – СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОДУКЦИИ**

Шероховатость является важнейшим показателем состояния поверхности и определяет свойства материалов, отвечающих за прочность, износостойкость, химическую стойкость, цветопередачу, внешний вид и др. Согласно ГОСТ 2789-73 (рекомендация ИСО Р 486), шероховатость поверхности – это совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности. Шероховатость поверхности определяется по её профилю, который представляет собой ломаную линию пересечения поверхности плоскостью, перпендикулярной направлению неровностей. Профиль рассматривается на длине базовой линии, в пределах которой выполняются расчеты параметров шероховатости поверхности. Приоритетной количественной характеристикой шероховатости является среднеарифметическое отклонение профиля  $R_a$ .

В целлюлозно-бумажном производстве шероховатость – это неровность поверхности, которая определяется по расходу воздуха (ГОСТ 30115-95, ИСО 8791-1-86). Данное определение не имеет ничего общего с шероховатостью, которая является одним из базовых понятий материаловедения и распространяется на шероховатость поверхности изделий независимо от их материала и способа изготовления (получения поверхности).

Методы анализа шероховатости, независимо от типа оборудования и принципа измерения, применяемые при производстве бумаги и картона, являются косвенными и не дают объективной оценки качества поверхности. Они имеют ограничения по толщине материала, объемной плотности, наличию тиснения и др. Утверждение правомерно по отношению ко всем методам контроля качества поверхности бумаги и картона - гладкость по Бекку, шероховатость по Бендтсену, ше-

роховатость по Шеффилду, шероховатость по Паркеру PPS. Сущность методов состоит в измерении скорости потока воздуха между поверхностью бумаги и анализатором. Форма и характеристики анализатора зависят от метода определения. При этом метод Паркера, который дает значение профиля поверхности в микрометрах, на самом деле является расчетным.

Независимо от принципа измерения все методы обладают одним общим свойством – они косвенные и дают усредненную (брутто) характеристику состояния поверхности анализируемого материала. Следовательно, очень высока вероятность получения идентичных результатов при различных реальных состояниях поверхности тестируемого материала.

В материаловедении для контроля поверхности твердых материалов используют два основных класса прямых методов. К ним относятся бесконтактные (оптические) [1] и контактные методы [2].

В отличие от традиционных методов микроскопического анализа целлюлозно-бумажных материалов (оптическая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия) в работе использована атомно-силовая микроскопия (АСМ). Этот раздел современной микроскопии стал применяться для исследования поверхностных свойств различных материалов лишь в последнее время [3,4]. АСМ обеспечивает прямое изображение рельефа поверхности в масштабе 3D. Обработка полученных результатов с применением специального встроенного программного обеспечения позволяет рассчитать параметр  $Ra$  в полном соответствии с требованиями ГОСТ 2789–73 (ИСО Р 468).

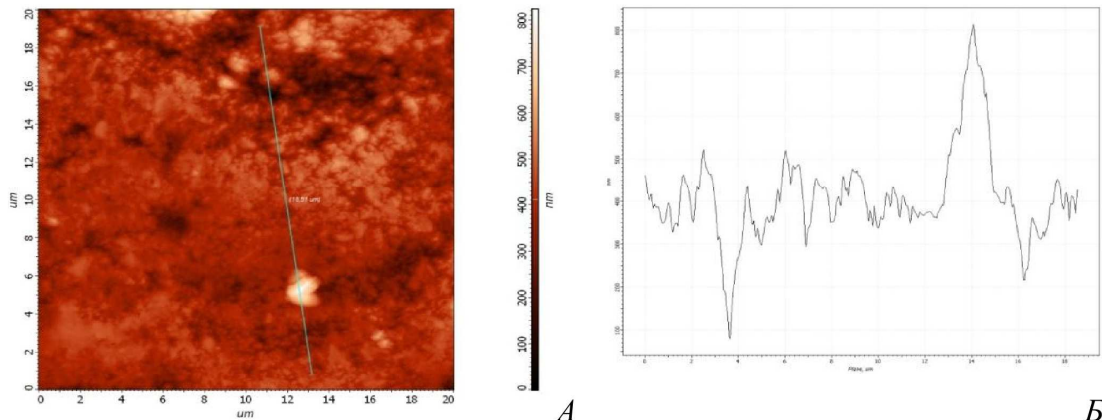
Работа является фундаментально-прикладным исследованием, направленным на изучение особенностей поверхности различных видов целлюлозно-бумажной продукции и позволяет с единых позиций рассмотреть шероховатость материалов на целлюлозной основе от волокна до уровня атомного разрешения.

В настоящем исследовании выполнен всесторонний анализ параметра «шероховатость» в зависимости от природных и технологических факторов определяющих формирование свойств волокнистых полуфабрикатов, бумаги и картона.

Природные факторы включают условия биосинтеза и геоклиматические факторы (порода и возраст древесины, условия её произрастания). Технологические факторы включают: 1) способ и глубина переработки растительного сырья (целлюлоза, целлюлоза высокого выхода, полуцеллюлоза, древесная масса); 2) схема отбелики и облагораживания волокнистой массы; 3) процессы подготовки волокнистой массы для производства бумаги и картона; 4) процессы поверхност-

ной обработки (бумага и картон с полимерными покрытиями, бумага с поверхностной проклейкой, глянцевые и матовые мелованные бумага и картон) [5]. К новым технологиям в области глубокой химической переработки растительного сырья относятся процессы получения целлюлозных материалов ультратонкого измельчения, в первую очередь, наноцеллюлозы. Процесс получения наноцеллюлозы полностью освоен и применяется в ИХФ РАН.

Главной особенностью метода АСМ для определения шероховатости поверхности материала является его универсальность. Тип поверхности, толщина образца и иные параметры не влияют на объективность получаемых результатов. Метод АСМ дает возможность исследования топографии поверхности практически всех видов целлюлозно-бумажной продукции (рис.). При этом снимаются все ограничения и условия проведения испытаний для косвенных методов анализа, принятых в целлюлозно-бумажном производстве. С единых позиций рассматриваются характеристики волокнистых полуфабрикатов, упаковочных видов бумаги и картона (коробочный и тарный картоны), носители информации из бумаги и картона (мелованные матовые и глянцевые материалы), а также целлюлозные материалы ультратонкого измельчения, включая наноцеллюлозу.



**Рисунок – А – топографическое АСМ изображение поверхности мелованной бумаги Storaenso; Б – профиль линии, проведенной через наивысшую и наинизшую точку рассматриваемой области**

Применение АСМ в производстве бумаги и картона с покрытиями имеет важное прикладное значение. Использование микроскопии обеспечивает существенное снижение материальных и временных затрат при оценке шероховатости поверхности различных материалов на целлюлозной основе. К преимуществам разрабатываемого подхода относятся:

- оборудование является серийным и производится в России;
- кондиционирование образцов не требуется; в соответствии с требованиями нормативной документации продолжительность кондиционирования перед испытаниями составляет не менее 2 ч;
- экспресс-контроль выполняется в течение 20 – 30 мин; продолжительность полного анализа с обработкой массива данных – 50-60 мин;
- приемлемая цена оборудования; в зависимости от марки прибора и выполняемых функций она сопоставима с ценой аналитических весов 1 класса точности;
- особо следует отметить, что для кондиционирования образцов бумаги и картона требуется специальное помещение, оборудованное системой кондиционирования, что неизбежно влечет дополнительные материальные затраты.

**Таблица – Соотношение между параметрами печати и результатами испытаний различных видов бумаги методом АСМ (по данным [4])**

Данные литературы			Результаты испытаний	
Тип материала, на котором производится печать	Линиатура	Оптимальное разрешение	Вид бумаги	Диапазон значений Ra, нм
	<i>lpi</i>	<i>dpi</i>		
Низкокачественная газетная бумага	80	до 1200	Пухлая	490 - 890
Газетная бумага	100	1600-2400	-	390 - 600
Газетная и офсетная бумага	133	2200-2540	Типографская	480 - 650
Качественная офсетная, мелованная бумага	150	2540-2800	Омела DNS Premium Media Print UPM Finesse SunPaper Svetocopy ARTPaper	170 - 760
Мелованная бумага	175	2800-3200	Омела UPM Finesse	100 - 105
Высококачественные сорта мелованной бумаги	200	3200-3600 и более	Media Print	55 - 70

Современные наилучшие доступные технологии в производстве и переработке целлюлозно-бумажной продукции неразрывно связаны с разработкой и внедрением инновационных методов контроля качества материалов по стадиям процесса и, главное, характеристик конечной продукции. Данное утверждение в полной мере относится к

носителям информации на бумажной основе. Интенсивное развитие современных методов печати ведет к постоянному повышению требований к качеству запечатываемой поверхности бумаги и картона. При этом одним из наиболее важных показателей качества картонно-бумажных материалов является шероховатость. Она обуславливает способность носителя передавать печатную информацию без искажений и разрывов. Результаты экспериментов свидетельствуют о правомерности подхода к анализу поверхностных свойств целлюлозно-бумажной продукции (таблица). Работы в данном направлении продолжаются.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ISO 8503 Часть 3: Метод калибровки компараторов профиля поверхности ИСО и определение профиля поверхности с применением микроскопа.

2. Вячеславова О.Ф., Бавыкин О.Б. Современные методы оценки качества поверхности деталей машин: учебное пособие. 1-е изд. – М.: МГТУ «МАМИ», 2010. 74 с.

3. Кирсанкин А.А., Михалева М.Г., Никольский С.Н., Мусохрнова А.В., Стовбун С.В. Прямой метод контроля качества поверхности мелованных видов бумаги // Химия растительного сырья. 2016. №4. С. 159 – 163.

4. Кирсанкин А.А., Михалева М.Г., Политенкова Г.Г., Никольский С.Н., Стовбун С.В. Изучение топографии материалов на целлюлозной основе методом атомно-силовой микроскопии // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 88–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-88-93

5. Никольский С.Н., Иванов В.Ф., Михайлов А.И., Евстигнеев Э.И. Физико-химические превращения древесного комплекса, бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов, характеристики конечной продукции и вторичного сырья // В кн. «Современные тенденции в развитии производства бумаги, картона, гофрокартона из макулатурного сырья». 11-я международная научно-техническая конференция 20 – 21 мая 2010 года : научные труды ОАО по пр-ву и перераб. бумаги "Каравеево". С. 126 – 135.