

УДК 676.017

И. Г. Громыко¹, А. Н. Кудряшова¹, Х. А. Бабаханова²¹Белорусский государственный технологический университет²Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (Республика Узбекистан)**ВЛИЯНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ БУМАГИ НА ЕЕ СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА**

В статье анализировалась структура поверхности различных видов бумаги, профилометрическим методом. Исследования проводились при разных климатических условиях: при температуре 25°C и относительной влажности воздуха 40%; при повышении относительной влажности до 75% и в условиях сушки оттисков при температуре 105°C. В процессе печатания важно учитывать, как изменяется влажность бумаги в ходе многократных циклов изменения влажности воздуха, поскольку такие трансформации влияют на качество получаемых оттисков, а также на возможность появления ряда дефектов. Полученные параметры шероховатости поверхности образцов бумаги с помощью профилометра демонстрируют изменение структурных показателей при различных климатических условиях. Это связано, например, с исчезновением мелких капиллярных полостей волокон вследствие усадки их структурных элементов в процессе сушки. В данном случае изменяются не только параметры шероховатости поверхности, но и деформационные свойства бумаги. Увлажнение же бумаги, наоборот, приводит к значительным преобразованиям поперечных размеров волокон. В результате ослабляются межволоконные связи, происходит релаксация скрытых в бумажном полотне внутренних напряжений. Особенно важен контроль влагосодержания бумаги в офсетной печати из-за присутствия увлажняющего раствора. Контроль влагосодержания бумаги и поддержание климатических условий в помещении цеха позволит обеспечить получение печатной продукции высокого качества.

Ключевые слова: шероховатость, микроструктура, профилометр, влагосодержание, сушка.

Для цитирования: Громыко И. Г., Кудряшова А. Н., Бабаханова Х. А. Влияние влагосодержания бумаги на ее структурные свойства // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт-и медиатеchnологии. 2025. № 1 (291). С. 12–18.

DOI: 10.52065/2520-6729-2025-291-2.

I. G. Gromyko¹, A. N. Kudryashova¹, Kh. A. Babakhanova²¹Belarusian State Technological University²Tashkent Institute of Textile and Light Industry (Republic of Uzbekistan)**THE EFFECT OF PAPER MOISTURE CONTENT ON ITS STRUCTURAL PROPERTIES**

The article examines the surface structure of various types of paper. The profilometric method was used for these purposes. The studies were conducted under various climatic conditions: at a temperature of 25°C with a relative humidity of 40%; with an increase in relative humidity to 75% and under drying conditions of prints at a temperature of 105°C. During the printing process, it is important to take into account how the moisture content of the paper changes with multiple cycles of air humidity changes, since such a change affects the quality of the prints obtained, as well as the possibility of a number of defects. The obtained surface roughness parameters of paper samples using a profilometer demonstrate a change in structural parameters under various climatic conditions. This is due, for example, to the disappearance of small capillary cavities of the fibers due to shrinkage of the structural elements of the fibers during the drying process. In this case, not only the surface roughness parameters change, but also the deformation properties of the paper. Moistening the paper, on the contrary, leads to significant changes in the transverse dimensions of the fibers. As a result, fiber-to-fiber connections are weakened, and internal stresses hidden in the paper web are relaxed. It is especially important to control the moisture content of paper in offset printing due to the presence of a moisturizing solution. The control of the moisture content of the paper and the maintenance of climatic conditions in the workshop room will ensure the production of high-quality printed products.

Keywords: roughness, microstructure, profilometer, moisture content, drying.

For citation: Gromyko I. G., Kudryashova A. N., Babakhanova Kh. A. The effect of paper moisture content on its structural properties. *Proceedings of BSTU, issue 4, Print- and Mediatechnologies*, 2025, no. 1 (292), pp. 12–18 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-6729-2025-291-2.

Введение. Бумага, основу которой составляют растительные материалы (древесная или хлопковая целлюлоза, древесная масса), очень чувствительна к перепадам влагосодержания. Изменение влагосодержания бумаги при изменении влажности окружающего воздуха происходит по-разному, в зависимости от того, увеличивается или уменьшается содержание влаги в бумаге. Данное различие объясняется явлением гистерезиса в процессах увлажнения и сушки бумаги. При изменении влажности и температуры воздуха в бумаге происходят процессы, важные для формирования свойств релаксации внутренних напряжений, заложенных в нее при изготовлении на бумагоделательной машине. Такие процессы могут приводить к трансформации внешнего вида бумаги, например уменьшению гладкости, появлению коробления поверхности, а также изменениям деформационных и прочностных свойств бумаги. При этом возможно возникновение пластических необратимых деформаций в случаях, если бумага находилась под воздействием нагрузки. Колебания влагосодержания бумаги ведут к изменению ее размеров, а иногда и формы. Увеличение размеров увлажненного листа бумаги по отношению к первоначальным размерам сухого листа называется *линейной деформацией при увлажнении* [1–3].

Для прочностных параметров бумаги требуется оптимальное значение ее влагосодержания при максимальных показателях параметров. Максимальное значение разрывного усилия достигается [4] при относительной влажности бумаги 6–8%. Увеличение ее влагосодержания до этого уровня вызывает повышение гибкости волокон и создание условий для роста площади контакта между ними.

В процессе пересушивания бумаги ухудшаются и ее сорбционные свойства. Положительное пластифицирующее влияние воды на механическую прочность бумаги ярко проявляется на значениях показателя сопротивления излому, который резко снижается при уменьшении влагосодержания бумаги.

Изменение сорбционных свойств бумаги при чередовании процессов увлажнения и сушки связано с необратимым изменением как микроструктуры бумаги (исчезновение мелких капиллярных полостей волокон вследствие усадки структурных элементов), так и химических свойств поверхности волокон (замыкание склонных к взаимодействию с водой химических групп целлюлозы на другие активные группы волокон).

Увлажнение с последующим высушиванием изменяет и деформационные свойства бумаги. Происходит усадка бумажного полотна (особенно в направлении, перпендикулярном преимущественной ориентации волокон в нем). Кроме того, колебания климатических условий оказывают влияние не только на условия проведения печатного процесса, но и на послепечатные операции, поскольку в результате изменений температуры

и влажности воздуха оттиски будут представлять собой материал, значительно отличающийся по свойствам от исходного [5–6].

Помимо влагосодержания и температуры, на равновесное состояние бумаги влияет композиционный состав по виду волокон. Чем ближе волокна по своему составу к чистой целлюлозе, тем меньше при равных условиях влагосодержание бумаги. Наибольшее влагосодержание при постоянных условиях имеют волокна древесной массы, наименьшее – волокна хлопка.

В процессе печатания важно учитывать, как изменяется влажность бумаги при многократных циклах изменения влажности воздуха. При циклическом колебании относительной влажности воздуха, например, от 30% до 85% и снова до 30% происходит существенное изменение влагопоглощения бумаги.

Основная часть. В данной работе проводились исследования с использованием различных видов бумаги: газетной массой 45 г/м², офсетной – 80 г/м², мелованной – 170 г/м² и поликарбонатной – 100 г/м². Образцы были выдержаны в течение суток в следующих климатических условиях: при температуре 25°C и относительной влажности 40%. Далее с помощью профилометра были получены профилограммы лицевой и оборотной сторон в долевом и поперечном направлениях. Параметры шероховатости поверхности исследуемых образцов бумаги, полученные с помощью профилометра, приведены в табл. 1

Таблица 1
Параметры шероховатости поверхности образцов бумаги, полученные с помощью профилометра

Бумага, сторона	Направление	R_a	R_z	$R_{\max}$
Газетная: лицевая	Вдоль	2,677	18,87	24,51
	Поперек	1,653	10,80	16,11
оборотная	Вдоль	2,849	18,49	24,45
	Поперек	2,467	19,48	16,88
Офсетная: лицевая	Вдоль	2,538	15,06	19,56
	Поперек	2,638	15,57	18,96
оборотная	Вдоль	2,736	17,23	20,88
	Поперек	3,675	20,43	30,62
Мелованная: лицевая	Вдоль	0,719	5,94	8,99
	Поперек	0,682	4,39	5,31
оборотная	Вдоль	0,416	3,07	5,40
	Поперек	0,326	2,07	2,68
Поликарбонатная: лицевая	Вдоль	2,176	13,74	15,10
	Поперек	2,077	14,66	20,31
оборотная	Вдоль	2,120	12,88	14,53
	Поперек	2,182	12,40	13,07

Приведенное в таблице значение R_z – среднеарифметическое значение высоты, взятое по 10 точкам поверхности. Это означает, что в измерении участвовали только 5 высот и 5 впадин. Все остальные перепады в расчет не принимались. Значение R_a является также среднеарифметическим показателем высоты шероховатости. От R_z его отличает то, что в расчет берется не 10 точек, а все. По этой причине параметр R_a более точно отображает неровность поверхностей и считается предпочтительнее. Значение $R_{\max}$ отображает высоту неровностей поверхности только по ее максимальным точкам: по наибольшей высоте и наименьшей впадине [7–9].

Как показывают полученные данные, наибольшей шероховатостью обладают образцы газетной и офсетной бумаги. При этом сеточная сторона характеризуется более выраженной структурой. Для образцов мелованной бумаги характерна однородность поверхности. Поликарбонатная бумага также демонстрирует достаточно развитую структуру.

Принимая во внимание тот факт, что профили на исследуемых образцах были получены в долевом и поперечном направлениях, а при отливке бумаги волокна целлюлозы укладываются вдоль направления отлива бумажного полотна, можно объяснить согласованный рост показателей R_a , R_z , $R_{\max}$, поскольку именно высотные характеристики в данном случае определяют характер микропрофиля поверхности, но данная закономерность не обязательна для направления, поперечного машинному [10].

Тот факт, что при формировании бумаги волокна располагаются не хаотически (количество волокон, вытянутых вдоль машинного направления, превышает количество волокон, расположенных перпендикулярно к нему), приводит к неравномерности физико-механических свойств бумажного полотна, или анизотропии, которая проявляется в различии свойств бумажного полотна в машинном и поперечном направлениях и определяется ориентацией волокна в бумаге. Показатели анизотропии бумаги являются важными и определяющими ее поведение в процессе печатания [10].

Приведенные в табл. 1 данные показывают, что анизотропия поверхности бумаги наиболее выражена для офсетной и газетной. Это связано с особенностями строения данных видов бумаги, поскольку они обладают более рельефной поверхностью. Для мелованной и поликарбонатной бумаги анизотропия поверхности выражена в меньшей степени, что объясняется характером распределения элементов структуры. Благодаря такому распределению, поверхность бумаги приобретает менее рельефную структуру, а неровности поверхности сглаживаются. Именно по этой причине различия в параметрах шероховатости лицевой

и сеточной сторон для поликарбонатной бумаги считаются минимальными.

Необходимо отметить также, что параметры шероховатости полученных образцов газетной и офсетной бумаги наиболее выражены на сеточной стороне, – что связано с особенностями технологии их изготовления. Поликарбонатная бумага характеризуется минимальными отклонениями.

На следующем этапе исследуемые образцы помещались на сутки в эксикатор с насыщенным раствором NaCl. За данный промежуток времени в эксикаторе установилась относительная влажность воздуха 75%. С полученных образцов были сняты профилограммы. Параметры шероховатости поверхности образцов бумаги, полученные с помощью профилометра после увлажнения, приведены в табл. 2.

Таблица 2
Параметры шероховатости поверхности образцов бумаги, полученные с помощью профилометра, после увлажнения

Бумага, сторона	Направление	R_a	R_z	$R_{\max}$
Газетная: лицевая	Вдоль	6,245	39,27	43,09
	Поперек	6,232	32,54	41,69
оборотная	Вдоль	10,295	55,64	63,32
	Поперек	6,007	31,80	41,82
Офсетная: лицевая	Вдоль	2,487	15,66	26,00
	Поперек	3,303	20,65	24,47
оборотная	Вдоль	3,161	17,45	21,87
	Поперек	3,929	23,90	28,08
Мелованная: лицевая	Вдоль	0,737	4,71	7,76
	Поперек	0,503	2,92	3,46
оборотная	Вдоль	0,711	3,88	4,84
	Поперек	0,849	4,66	5,52
Поликарбонатная: лицевая	Вдоль	2,083	14,76	17,48
	Поперек	1,851	14,43	13,31
оборотная	Вдоль	2,522	15,82	17,72
	Поперек	1,954	11,92	14,28

За время проведения эксперимента в условиях различной относительной влажности воздуха бумага впитывала влагу до тех пор, пока не достигла равновесного состояния относительно воздуха окружающей среды (равновесного влагосодержания). Это позволило не только определить соответствие влагосодержания стандартным нормам, но и сопоставить данный показатель с величиной равновесной влажности бумаги по отношению к действительным климатическим условиям печатного цеха [11]. Такой факт важно учитывать при проведении не только процесса печатания, но и послепечатных процессов.

Соотношение целлюлозы и воды является наиболее важным фактором в химии бумаги. Количество воды, содержащейся в отдельных волокнах, влияет на их прочность, эластичность и бумагообразующие свойства. Содержание влаги в бумаге влияет на ее вес, прочность, неизменяемость, устойчивость размеров и электрические свойства. Влажность очень важна при каландрировании, печатании, покрытии и пропитке. В ходе испытания бумагу обычно кондиционируют для того, чтобы создать постоянную, строго определенную влажность.

От содержания влаги в бумаге зависят ее прочностные показатели, устойчивость размеров и формы листов. Изменение влагосодержания вызывает нарушение приводки при печатании, несовмещение красок, скручивание, коробление, накаливание статической электризации, а также образование морщин и складок.

Бумага, основу которой составляют растительные материалы (древесная или хлопковая целлюлоза, древесная масса, крахмал), очень чувствительна к перепадам влагосодержания. Ее увлажнение приводит к значительным (на 10–30%) изменениям поперечных размеров волокон древесной целлюлозы, ослаблению межволоконных связей. Происходит релаксация скрытых в бумажном полотне внутренних напряжений, а при более значительном увлажнении возникают новые. В результате уменьшается гладкость бумаги, поверхность коробится, отиски скручиваются.

Измеренные параметры шероховатости бумаги после увлажнения, приведенные в табл. 2, претерпели значительные изменения. Особенно явно данная закономерность выражена для газетной и офсетной бумаги и в меньшей степени – для мелованной.

На впитывающую способность бумаги непосредственно воздействует пористость, которая может служить характеристикой ее структуры. Бумага является пористо-капиллярным материалом; при этом различают макро- и микропористость. Макропоры – это пространства между волокнами, заполненные воздухом и влагой. Микропоры, или капилляры, – мельчайшие пространства неопределенной формы, находящиеся в покровном слое мелованной бумаги, а также занимающие пространства между частичками наполнителя.

Вся немелованная, не слишком уплотненная бумага, например газетная, является макропористой. Общий объем пор в такой бумаге достигает 60% и более, а средний радиус пор составляет около 0,16–0,18 мкм. Данная бумага хорошо впитывает влагу за счет рыхлой структуры, т. е. сильно развитой внутренней поверхности. Мелованные виды бумаги относятся к микропористым, или капиллярным. Они также обладают

хорошей впитывающей способностью, однако процесс впитывания у них протекает под действием сил капиллярного давления. Для мелованных видов бумаги пористость составляет около 30%, а размер пор не превышает 0,03 мкм.

Параметры шероховатости для поликарбонатной бумаги изменились незначительно, что обусловлено технологией ее изготовления.

Влагосодержание в значительной степени определяет практически все свойства бумаги. При повышении влагосодержания увеличивается ее пластичность, а также удлинение до разрыва, заметно растет сопротивление излому при многократных перегибах листа.

Область положительного влияния увеличения влажности на свойства бумаги небольшая и составляет всего 2–3%. Увеличение влажности сверх указанного диапазона негативно сказывается на бумаге, особенно мелованной. Увлажнение мелованных видов свыше 6% способно вызвать слипание листов в стопе. Однако бумага без покрытия также может изменять свои свойства. Например, при влажности более 8% она теряет жесткость при изгибе.

Состав бумаги оказывает влияние на равновесную влажность, которая устанавливается при определенной относительной влажности воздуха. Величина равновесной влажности бумаги при относительной влажности воздуха 50–60% находится в диапазоне 5–6%. Однако высокое содержание древесной массы способно повысить влажность бумаги до 7%. Влажность бумаги может иметь значение, ниже указанного диапазона из-за наличия покрытия, выполняющего изолирующую функцию, как для мелованных видов бумаги [12–13].

Влажность листов бумаги, приобретаемая в соответствии с климатическими условиями помещения, в конечном итоге будет определять относительную влажность воздуха в стопе, которая для оптимальных условий печати должна составлять 45–55%.

Содержание влаги в бумаге, безусловно, сильно зависит от относительной влажности, но при этом существует равновесная зависимость. Если относительная влажность окружающего воздуха изменяется, то содержание влаги в бумаге также изменяется до достижения равновесия. Колебание относительной влажности с 50% до 90% приводит к увеличению содержания влаги примерно на 10%. Вследствие повышенного содержания влаги бумага размягчается под действием различных механизмов, что приводит к снижению прочностных свойств.

В офсетной печати немаловажной является линейная деформация бумаги, наблюдаемая при контакте с увлажняющим раствором. Особенно это важно в ходе работы с одновременной двусторонней

печатью без переворота. В таких условиях вероятность скручивания бумаги будет зависеть от ее состава [14].

На следующем этапе исследуемые образцы помещались в сушильный шкаф и выдерживались в течение 20 мин при температуре 105°C, по истечении которых с представленных образцов были сняты профилограммы. Параметры шероховатости поверхности образцов бумаги, полученные с помощью профилометра после сушки, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры шероховатости поверхности образцов бумаги, полученные с помощью профилометра, после сушки

Бумага, сторона	Направление	R_a	R_z	$R_{\max}$
Газетная: лицевая	Вдоль	2,661	19,47	22,35
	Поперек	2,83	17,01	21,68
оборотная	Вдоль	3,767	21,8	32,04
	Поперек	3,356	19,92	23,6
Офсетная: лицевая	Вдоль	2,695	14,96	17,65
	Поперек	2,901	17,9	20,76
оборотная	Вдоль	2,826	15,77	17,33
	Поперек	2,602	15,81	20,52
Мелованная: лицевая	Вдоль	0,451	3,75	4,84
	Поперек	0,676	3,46	5,31
оборотная	Вдоль	1,275	6,76	8,59
	Поперек	1,019	5,94	13,72
Поликарбонатная: лицевая	Вдоль	1,77	11,54	12,61
	Поперек	1,896	12,08	13,59
оборотная	Вдоль	1,997	12,62	14,78
	Поперек	1,93	12,22	13,48

Как показывают полученные данные, проведение сушки бумаги вызвало образование и фиксацию нового состояния структуры. Происходит изменение не только параметров шероховатости поверхности, но и деформационных свойств бумаги. В результате сушки наблюдается усадка бумажного полотна, повышается гидрофобность, т. е. уменьшается восприимчивость по отношению к воде. Например, уменьшение влажности до 4% приводит к увеличению хрупкости волокон, снижению прочности бумаги, ее упругости и пластичности. Такая бумага склонна к пылению не только в процессе печатания, но и при выполнении последующих операций, например

разрезки и подрезки кромок. Кроме того, данная бумага способна накапливать статическое электричество, что может привести к проблемам при печатании [15].

Результаты исследования демонстрируют значительное уменьшение показателей шероховатости после сушки оттисков. Наибольшие изменения наблюдаются для газетной и офсетной бумаги, которые являются достаточно чувствительными к колебаниям климатических условий. Наличие покрытия на поверхности мелованной бумаги играет своеобразную барьерную функцию, уменьшающую скорость удаления влаги в течение не продолжительного промежутка времени. Поликарбонатная бумага в процессе сушки демонстрирует незначительное изменение показателей шероховатости, которые на протяжении проведения эксперимента показывают относительную стабильность.

Выводы. Таким образом, влажность бумаги играет существенную роль при получении оттисков. В большей степени она подвержена изменению в офсетной печати в условиях постоянного взаимодействия с увлажняющим раствором. При печатании многокрасочной продукции, предусматривающем четырехкратный контакт запечатываемого материала с резинотканевым полотном, увеличение влажности бумаги может составлять 1,5–2,0%. Также необходимо учитывать, что процесс сушки, часто используемый в рулонной печати, может существенно снизить влажность бумаги до 4% и менее, что вызовет снижение ее механической прочности. Применение такой бумаги на последующих операциях затруднительно, поскольку пересушенная бумага будет ломаться в ходе проведения фальцовки и прессования. Для предупреждения этого после секции сушки бумага подается в секцию охлаждения или увлажнения, где происходит восстановление влажности до равновесного значения. Однако в условиях избыточной влажности бумаги ввиду накопления влаги в бумажных порах может происходить вспучивание ее слоев в процессе сушки. Это связано с тем, что высокая температура закрепления приводит к мгновенному парообразованию микрочастиц влаги внутри бумаги, искривлению бумаги из-за ее пониженной или повышенной влажности. Также наблюдается возникновение ряда дефектов при колебаниях относительной влажности воздуха. При повышенном ее значении волокна расширяются в поперечном направлении и бумага становится волнистой; при пониженной влажности происходит усадка волокон и края бумаги поднимаются.

Список литературы

1. Вилсон А. Лоуренс. Что полиграфист должен знать о бумаге. М.: ПринтМедиа, 2005. 376 с.
2. Кларк Д. А. Технология целлюлозы. М.: Лесная пром-сть, 1983. 465 с.
3. Флятте Д. М. Свойства бумаги. М.: Лесная пром-сть, 2000. 680 с.

4. Фролов М. В. Структурная механика бумаги (бумажных текстильных материалов из химических и натуральных волокон). М.: Лесная пром-сть, 1982. 271 с.
5. Валенски В. Бумага + Печать. М.: Дубль В, 1996. 430 с.
6. Козаровицкий Л. А. Бумага и краска в процессе печатания. М.: Книга, 1965. 367 с.
7. Кулак М. И. Фрактальная механика материалов. Минск: Выш. шк., 2002. 304 с.
8. Методы атомно-силовой микроскопии и профилометрии в исследовании фрактальной неоднородности запечатываемых поверхностей / И. Г. Громыко [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2024. № 1 (279). С. 5–12. DOI: 10.52065/2520-6729-2024-279-1.
9. Громыко И. Г., Кудряшова А. Н. Исследование влияния фрактальной неоднородности микроструктуры на краскоемкость запечатываемой поверхности материалов с различной впитывающей способностью // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2023. № 2 (273). С. 5–11. DOI: 10.52065/2520-6729-2023-273-2-1.
10. Кулак М. И., Ничипорович С. А., Медяк Д. М. Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления: полиграфические материалы и процессы. Минск: Бел. навука, 2007. 419 с.
11. Технология печатных процессов / А. Н. Раскин [и др.]. М.: Книга, 1989. 301 с.
12. Анализ зависимости качества продукции от поверхностных свойств бумаги и параметров печати / Х. А. Бабаханова [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2022. № 1 (255). С. 5–13. DOI: 10.52065/2520-6729-2022-255-1-5-13.
13. Прямой метод контроля качества поверхности мелованных видов бумаги / А. А. Кирсанин [и др.] // Химия растительного сырья. 2016. № 4. С. 159–163.
14. Леонтьев В. Н. Методы и средства совершенствования печатных свойств бумаг в системе «бумага – краска – оттиск». СПб.: ГОУВПО СПбГУРП, 2009. 170 с.
15. Лихачев В. В. Основы управления качеством печатной продукции. М.: Мир книги, 1999. 210 с.

References

1. Wilson A. Lawrence. *Chto poligrafist dolzhen znat' o bumage* [What a polygraphist should know about paper]. Moscow, PrintMedia Publ., 2005. 376 p. (In Russian).
2. Clark D. A. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Pulp technology]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 465 p. (In Russian).
3. Flatte D. M. *Svoystva bumagi* [Paper Properties]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 2000. 680 p. (In Russian).
4. Frolov M. V. *Strukturnaya mekhanika bumagi (bumazhnykh tekstil'nykh materialov iz khimicheskikh i natural'nykh volokon)* [Structural mechanics of paper (paper textile materials made of chemical and natural fibers)]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 271 p. (In Russian).
5. Valenski V. *Bumaga + Pechat'* [Paper + Printing]. Moscow, Dubl' B Publ., 1996. 430 p. (In Russian).
6. Kozarovitskiy L. A. *Bumaga i kraska v protsesse pechataniya* [Paper and ink in the process of printing]. Moscow, Kniga Publ., 1965. 368 p. (In Russian).
7. Kulak M. I. *Fraktal'naya mekhanika materialov* [Fractal mechanics of materials]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 2002. 304 p. (In Russian).
8. Gromyko I. G., Kudryashova A. N., Prokhorchik S. A., Babakhanova Kh. A., Galimova Z. K. Methods of atomic force microscopy and profilometry in the study of fractal heterogeneity sealed surfaces. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 4, Print- and Mediatechnologies, 2024, no. 1 (279), pp. 5–12. DOI: 10.52065/2520-6729-2024-279-1 (In Russian).
9. Gromyko I. G., Kudryashova A. N. Investigation of the effect of fractal inhomogeneity of microstructure on the paint capacity of the sealed surface of materials with different absorbency. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 4, Print- and Mediatechnologies, 2023, no. 2 (273), pp. 5–11. DOI: 10.52065/2520-6729-2023-273-2-1 (In Russian).
10. Kulak M. I., Nichiporovich S. A., Medyak D. M. *Metody teorii fraktalov v tekhnologicheskoy mekhanike i protsessakh upravleniya: poligraficheskiye materialy i protsessy* [Methods of fractal theory in technological mechanics and control processes: polygraphic materials and processes]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2007. 419 p. (In Russian).
11. Raskin A. N., Romeikov I. V., Biryukova N. D., Muratov Yu. A., Efremova A. N. *Tekhnologiya pechatnykh protsessov* [Technology of printing processes]. Moscow, Kniga Publ., 1989. 301 p. (In Russian).
12. Babakhanova Kh. A., Abdunazarov M. M., Galimova Z. K., Gromyko I. G. Analysis of the dependence of product quality on the surface properties of paper and printing parameters. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 4, Print- and Mediatechnologies, 2022, no. 1 (255), pp. 5–13. DOI: 10.52065/2520-6729-2022-255-1-5-13 (In Russian).
13. Kirsankin A. A., Mikhaleva M. G., Nikolsky S. N., Musokhranova A. V., Stovbun S. V. Direct method for controlling the surface quality of coated types of paper. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2016, no. 4, pp. 159–163 (In Russian).

14. Leontiev 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, GOVPO SPbGURP Publ., 2009. 170 p. (In Russian).

15. Likhachev V. V. *Osnovy upravleniya kachestvom pechatnoy produktsii* [Fundamentals of print quality management]. Moscow, Mir knigi Publ., 1999. 210 p. (In Russian).

Информация об авторах

Громыко Ирина Григорьевна – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: gromyko@belstu.by

Кудряшова Алина Николаевна – магистр, ассистент кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kudryashova@belstu.by

Бабаханова Халима Абишевна – доктор технических наук, профессор кафедры технологии полиграфического и упаковочного процессов. Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (ул. Шохжохон, 5, 100100, г. Ташкент, Республика Узбекистан). E-mail: halima300@inbox.ru

Information about the authors

Gromyko Irina Grigor'yevna – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gromyko@belstu.by

Kudryashova Alina Nikolaevna – Master, Assistant Lecturer, the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kudryashova@belstu.by

Babakhanova Khalima Abishevna – DSc (Engineering), Professor, the Department of Technology of Printing and Packaging Processes. Tashkent Institute of Textile and Light Industry (5 Shokhzakhon str., 100100, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: halima300@inbox.ru

Поступила 15.01.2025

