

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ БУМАГИ

О.С. Мартьянова¹, Н.В. Хомутинников¹, Е.В. Куркова¹, Г.Е. Иванов¹,
И.О. Говязин¹, Г.Н. Кононов²

¹НИИ — филиал АО «Гознак», отдел технологии бумаги, 115162, г. Москва, ул. Мытная, д. 19

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Martyanova_O_S@goznak.ru

Использование добавок синтетических волокон в композиции специальных видов бумаги для печати обусловлено особенностями их природы — биостойкостью, химической инертностью, высокой прочностью, повышенной эластичностью и деформационной устойчивостью. В данной работе показано влияние синтетических волокон различных марок промышленного образца, а также их параметров (длина, толщина) на изменение потребительских характеристик специальных видов бумаги для печати. Отмечено увеличение привеса пропиточного состава из современных водоразбавляемых дисперсий полимеров на единицу площади бумажного полотна с добавками синтетических волокон, что позволяет получить новый целлюлозный композиционный материал с улучшенными потребительскими характеристиками — эластичностью, устойчивостью к раздиранию и износу при сохранении специальных и печатных свойств. На основании проведенных исследований осуществлен выбор вида и параметров синтетических волокон; определено влияние их добавок на базовые потребительские физико-механические характеристики бумаги, печатные свойства, читаемость водяного знака. Приведенные данные могут быть использованы в технологии изготовления специальных видов бумаги для печати.

Ключевые слова: бумага, синтетические волокна, полиэфирные и полиамидные волокна, физико-механические показатели бумаги, поверхностная обработка бумаги, износостойкость

Ссылка для цитирования: Мартьянова О.С., Хомутинников Н.В., Куркова Е.В., Иванов Г.Е., Говязин И.О., Кононов Г.Н. Использование синтетических волокон для изготовления специальных видов бумаги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 113–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-113-120

Разработка новых видов бумаги и направленное изменение свойств действующего ассортимента бумажной продукции является актуальной задачей производителя [1–4]. Для изготовления бумаги традиционно используется растительное сырье — целлюлоза из различных видов древесины или однолетних растений. Свойства натуральных целлюлозных волокон определяются их природой и варьируются в незначительных пределах в зависимости от вида растительного сырья, а также способа варки и подготовки к отливу. В настоящее время на рынке появились синтетические волокна короткой резки, специальным образом подготовленные для использования в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП). Добавки синтетических волокон в композицию бумаги благоприятно сказываются на ее физико-механических характеристиках [5–8]. Параметры данных синтетических волокон сопоставимы с размерами волокон природной целлюлозы, что в значительной степени облегчает адаптацию синтетических волокон (нового волокнистого сырья) в потоке изготовления бумаги [2, 9–12]. Наибольший интерес представляют полиамидные и полиэфирные волокна, предлагаемые на современном рынке под различными торговыми марками.

Наряду с высокой механической прочностью и деформационной устойчивостью, синтетические волокна обладают биостойкостью, инертностью

и эластичностью, что позволяет применять их в композиции бумаги с повышенной устойчивостью к износу [13–15].

Цель работы

Цель работы — разработка технологии изготовления специальных видов бумаги для печати с повышенной устойчивостью к износу (бумага) путем добавки синтетических волокон в волокнистую композицию с последующей обработкой современными водоразбавляемыми полимерными дисперсиями. Одновременно решается задача расширения сырьевой базы и адаптации добавок синтетических волокон в композицию бумаги без модификации действующего оборудования.

Материалы и методы

В рамках данной работы проведены исследования добавок синтетических волокон различных видов и параметров в волокнистую композицию бумаги. Наличие синтетических волокон в композиции бумажной массы значительно изменяет водоотдачу при отливе на сетке бумагоделательной машины (БДМ) и оказывает негативное влияние на структуру поверхности бумажного полотна, равномерность просвета [2, 12, 15] и читаемость водяного знака. Поэтому для целей настоящего исследования добавка синтетических волокон была ограничена 10 %.

При изготовлении опытных образцов бумаги были использованы полиэфирные волокна (ПЭВ) различных марок с разной длиной резки, а также полиэфирные и полиамидные волокна (ПАмВ) с длиной резки 6...7 мм, изготовленные на опытном производстве Всесоюзного научно-исследовательского института синтетического волокна (ВНИИСВ). Основные характеристики волокон приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1
Характеристики синтетических волокон
Characteristics of synthetic fibers

Характеристика	ПЭВ			ПАмВ
	3	6	6-7	6-7
Длина, мм	3	6	6-7	6-7
Толщина, мкм	14	14	19	19
Страна-производитель, предприятие	Южная Корея		Россия (ВНИИСВ)	

Исследования по выбору вида синтетических волокон и их параметров сначала проводили на опытных образцах бумаги ручного отлива. Полученные образцы бумаги пропитывали водоразбавляемой дисперсией на основе стирол-акрилового сополимера. Изменения качества бумаги фиксировали по уровню показателей, характеризующих важные свойства износостойкой бумаги — «прочность на излом» и «сопротивление раздиранию». Результаты испытаний показаны на рис. 1.

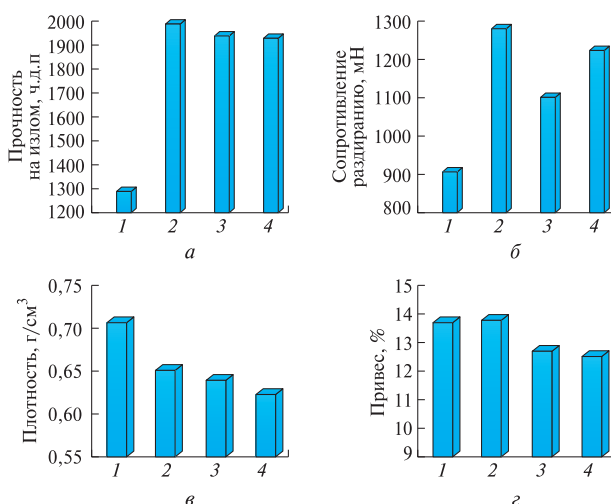


Рис. 1. Влияние вида синтетического волокна на физико-механические показатели бумаги: а — прочность на излом; б — сопротивление раздиранию; в — плотность; г — привес пропиточного состава; 1 — 100 % хлопок; 2 — 10 % ПЭВ (Ю. Корея); 3 — 10 % ПЭВ (Россия); 4 — 10 % ПамВ

Fig. 1. The influence of synthetic fibers types on the physical-mechanical properties of paper: a — fracture strength b — tear resistance; c — density of paper; d — the weight of impregnating composition; 1 — 100 % cotton; 2 — 10 % PF (South Korea); 3 — 10 % PF (Russia); 4 — 10 % PamF

Результаты и обсуждение

Как следует из полученных данных, добавка 10 % синтетических волокон всех видов (см. табл. 1) в композицию бумажной массы из 100%-ной хлопковой целлюлозы позволяет увеличить показатель «прочность на излом» на 35 % (рис. 1, а), а показатель «сопротивление раздиранию» — на 20...40 % (рис. 1, б).

Увеличение толщины волокон способствует снижению показателя «сопротивление раздиранию»; при этом показатель «прочность на излом» для волокнистой композиции с добавкой полиэфирных волокон производства ВНИИСВ (см. табл. 1) с большей толщиной остается примерно на одном уровне с бумагой, в композиции которой использованы волокна меньшей толщины.

Плотность бумажного полотна уменьшается, но привес пропиточного состава остается высоким. Так, при использовании полиамидного волокна производства ВНИИСВ, которое характеризуется более низкой упругостью, чем полиэфирные волокна, получается бумага с минимальной плотностью (рис. 1, в). Наибольший привес пропиточного состава (рис. 1, г) отмечен у образцов бумаги с полиэфирным волокном корейского производства (см. табл. 1).

Влияние длины волокон на свойства бумаги показано на рис. 2 (на примере полиэфирных волокон производства Южной Кореи).

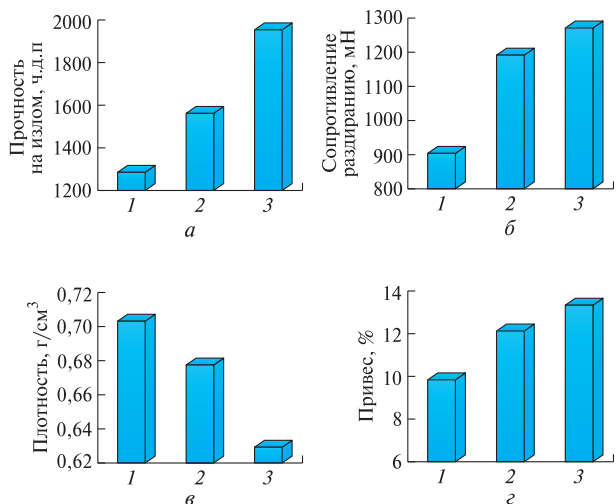


Рис. 2. Влияние длины полиэфирных волокон на физико-механические показатели бумаги: а — прочность на излом; б — сопротивление раздиранию; в — плотность; г — привес пропиточного состава; 1 — 100 % хлопок; 2 — 10 % ПЭВ (длина 3 мм); 3 — 10 % ПЭВ (длина 6 мм)

Fig. 2. The influence of the polyester fibers length on the physical and mechanical properties of paper: a — fracture strength; b — tear resistance; c — density of paper; d — the weight of impregnating composition; 1 — 100 % cotton; 2 — 10 % PF (length 3 mm); 3 — 10 % PF (length 6 mm)

Полученные данные свидетельствуют о том, что увеличение длины полиэфирных волокон с 3 до 6 мм приводит к росту важных потребительских показателей бумаги. Так, показатель «прочность на излом» увеличивается на 25...50 % (рис. 2, *a*), а показатель «сопротивление раздиранию» — на 10...30 % (рис. 2, *b*). Одновременно уменьшается плотность бумаги (рис. 2, *в*) и растет привес пропиточного состава (рис. 2, *г*).

Варьирование добавок синтетических волокон в композиции опытных образцов бумаги (в качестве примера взято 0; 5; 10 % ПЭВ, длиной 6 мм, корейского производства) позволяет получить бумагу с показателем «сопротивление раздиранию» более 1200 мН, что практически невозможно при использовании волокнистой композиции из 100%-ной хлопковой целлюлозы. Тенденции изменения плотности бумажного полотна (рис. 3, *a*) и привеса пропиточного состава (рис. 3, *b*) сохраняются.

Как показали проведенные исследования, увеличение длины синтетических волокон, а также их доли в композиции бумажного полотна оказывает положительное влияние на такие важные потребительские характеристики специальных видов бумаги, как сопротивление раздиранию и прочность на излом; при этом толщина волокон должна быть наименьшей.

По сравнению с бумагой из 100 %-ной хлопковой целлюлозы обеспечивается снижение плотности и усиление впитывающей способности проклеивающих составов. Это дает возможность модифицировать бумагу-основу путем использования современных дисперсий на основе стирол-акрилата и полиуретана, адгезионные и барьерные свойства которых способствуют формированию нового композиционного материала — износостойкой бумаги [16–20].

Образцы бумаги из 100 % хлопка и бумаги с добавкой 10 % полиэфирных волокон для сравнения были пропитаны поливиниловым спиртом (ПВС), стирол-акрилатом (СА) и полиуретаном (ПУ). Их влияние на изменение степени износа и устойчивости к загрязнению образцов бумаги по методикам, разработанным в НИИ — филиале АО «Гознак» [21], представлены на рис. 4.

Как видно из рис. 4, бумага обработанная с поверхности СА, обладает высокой износостойкостью. При этом оптимальным для реализации на практике считаем результат, полученный при обработке бумаги составом на основе ПУ. Рыхлое бумажное полотно с добавками синтетических волокон изнашивается быстрее (см. рис. 4, вариант без поверхностной обработки (Без ПО), а использование эластичного полиуретана для поверхностной обработки позволяет сохранить исходные параметры образца в процессе модельного износа и загрязнения [21].

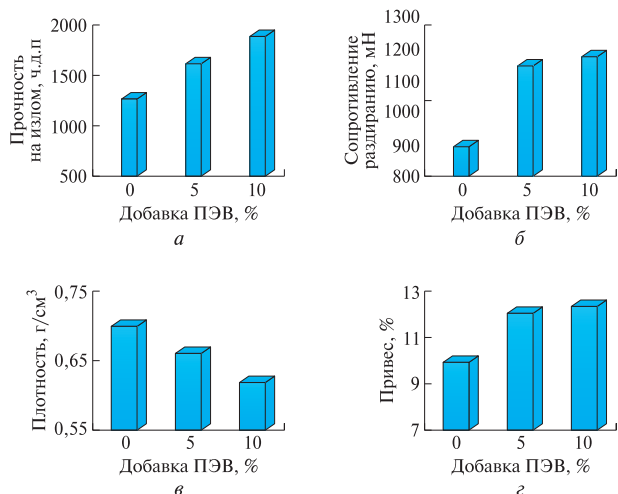


Рис. 3. Влияние количества полиэфирных волокон на физико-механические показатели бумаги: *a* — прочность на излом; *b* — сопротивление раздиранию; *в* — плотность; *г* — привес пропиточного состава

Fig. 3. The effect of the additives of polyester fibers on the physical and mechanical properties of paper: *a* — fracture strength; *b* — tear resistance; *c* — density of paper; *d* — the weight of impregnating composition

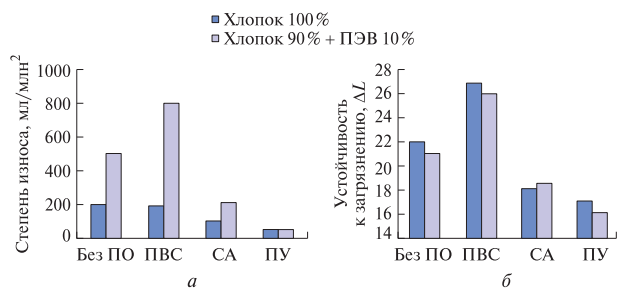


Рис. 4. Износостойкость (*a*) и устойчивость к загрязнению (*b*) бумаги, обработанной с поверхности растворами различных полимеров; ПО — поверхностная обработка

Fig. 4. The wear resistance (*a*) and resistance to contamination (*b*) of the paper treated with surface solutions of different polymers; ST-surface treatment

Испытания в промышленных условиях показали, что различные марки полиэфирных волокон на стадии подготовки бумажной массы и при отливе на БДМ ведут себя по-разному. При отливе образцов бумаги с повышенной устойчивостью к износу на опытной БДМ использовали полиэфирные волокна двух торговых марок. В табл. 2 даны их характеристики. Пропитка бумажного полотна осуществлялась составом на основе дисперсии полиуретана по технологии «on-line».

Полиэфирные волокна корейского производства (см. табл. 2, вариант 1) — эластичные, хорошо смачиваются водой и обеспечивают более сомкнутую структуру бумажного полотна, что затрудняет проникновение полиуретановой дисперсии вглубь бумажного полотна. Волокна дан-

Т а б л и ц а 2
Характеристики полиэфирных волокон
 Characteristics of polyester fibers

Характеристика	Вариант ПЭВ	
	1	2
Длина, мм	6,2	6,8
Диаметр, мкм	11,0	11,5
Разрывная нагрузка, сН	7,2	8,7
Содержание влаги, %	12,5	15,0
Страна производства	Южная Корея	Китай

ной марки лучше диспергируются в воде и равномернее распределяются в бумажном полотне. Волокна производства Китая (см. табл. 2, вариант 2) с бóльшей жесткостью и длиной обеспечивают более пухлую бумажную матрицу, в которую легко проникает полиуретановая дисперсия.

Таким образом, волокна с разной длиной, упругостью и прочностью по-разному встраиваются в бумажную матрицу, образуя на поверхности бумажного листа различную текстуру. Последнее становится очевидным на образцах бумаги после модельного загрязнения (рис. 5, а). Более гибкие и тонкие полиэфирные волокна производства Южной Кореи равномерно распределяются в бумажном полотне, лучше встраиваются в структуру бумажной матрицы, что обеспечивает их оптимальное переплетение с целлюлозными волокнами, минимальное ухудшение просвета бумаги и читаемость водяного знака (рис. 5, б).

Использование более жестких волокон производства Китая ухудшает просвет бумаги и читаемость водяного знака (см. рис. 5, б). Поверхностная обработка бумаги составами на основе дисперсии полиуретана позволяет выявленным закономерностям проявиться отчетливее.

Таким образом, выбор той или иной марки синтетических волокон в качестве добавки при изготовлении высококачественной износостойкой бумаги возможен только после проверки их поведения в условиях производства.

Регулирование привеса пропиточного состава на единицу площади бумаги можно осуществить путем варьирования давления в прессовой части БДМ [16–18]. Влияние режима прессования на свойства бумаги показано в табл. 3.

Из данных табл. 3 следует, что изменение давления в прессовой части БДМ позволяет изменять пористость (воздухопроницаемость) бумаги-основы. При этом минимальное давление прессования приводит к увеличению пухлости бумажной папки, о чем свидетельствуют значения показателей «воздухопроницаемость» и «привес пропиточного состава». Максимальное давление прессования в равных условиях позволяет получить бумагу-основу с более сомкнутой структурой, о чем свидетельствуют низкое значение показателей «воздухопроницаемость» (13 мл/мин) и «привес пропиточного состава».

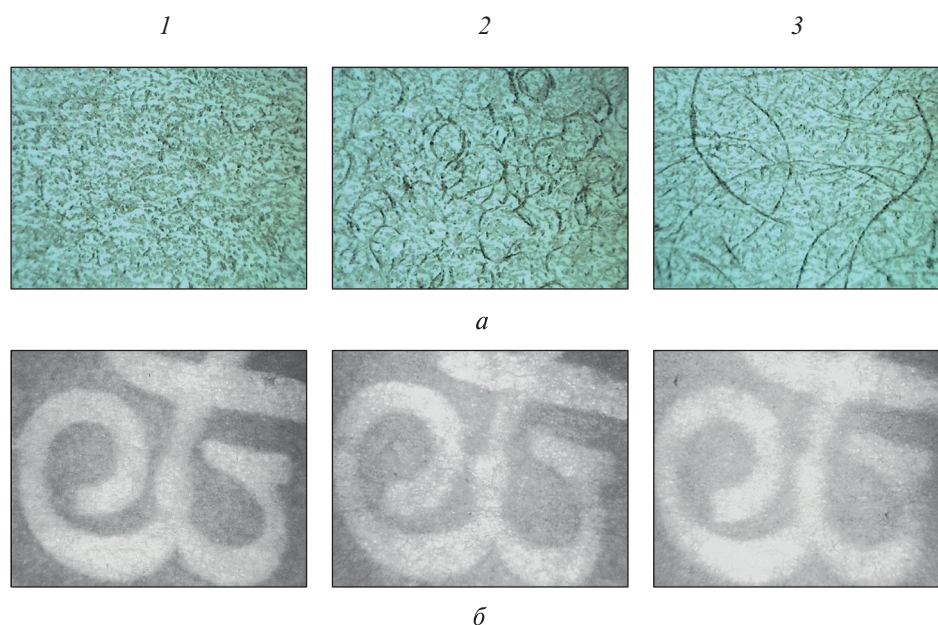


Рис. 5. Особенности встраивания полиэфирных волокон в бумажной матрице: а — текстура бумаги после модельного загрязнения; б — водяной знак; 1 — 100 % хлопок; 2 — 10 % ПЭВ (длина 6,2 мм; Южная Корея); 3 — 10 % ПЭВ (длина 6,8 мм; Китай)
Fig. 5. Features of polyester fibers embedded in the paper matrix: а — the texture of paper after the model of contamination; б — the watermark; 1 — 100 % cotton; 2 — 10 % PF (length 6.2 mm; South Korea); 3 — 10 % PF (length 6.8 mm; China)

Т а б л и ц а 3
Влияние режима прессования бумажного
полотна на свойства бумаги

Influence of the pressing mode of a paperweb
on properties of paper

Показатель	Давление в прессовой части БДМ (3-й пресс)	
	минимальное	максимальное
Привес пропиточного состава, %	12,6	8,9
Воздухопроницаемость, мл/мин	41	13
Прочность на излом, ч.д.п.	9000	8518
Сопротивление раздиранию, мН	1000	973
Степень износа, мл/мин	65	50
Устойчивость к загрязнению, ΔL	17,9	17,3

Таким образом, регулировать привес пропиточного состава и, соответственно, итоговую износостойкость бумаги и важные потребительские характеристики — прочность на излом и сопротивление раздиранию — можно путем изменения давления в прессовой части БДМ.

Для промышленных образцов были определены печатно-технологические свойства для бумаги двух вариантов: вариант 1 — бумага из 100%-ной хлопковой целлюлозы; вариант 2 — композиция бумажной массы из целлюлозы с добавкой 10 % ПЭВ.

На пробопечатном устройстве IGTGST-1 при скорости выщипывания более 4 м/с проведены испытания на стойкость бумаги к выщипыванию. Образцы бумаги обоих вариантов выдержали испытания на прочность поверхности.

При нанесении красочного слоя на пробопечатном устройстве Prüfbau отмечен хороший процент переноса краски при толщине 1,2 г/м²

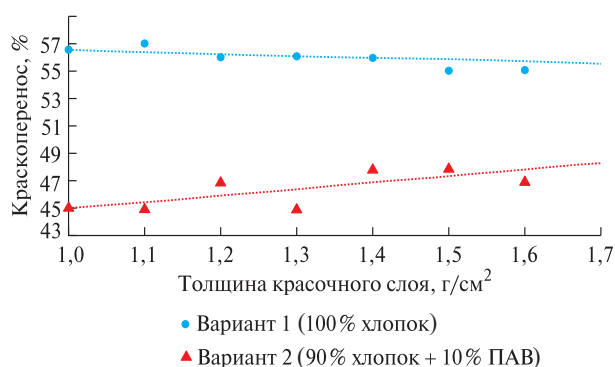


Рис. 6. Процесс переноса краски при различной толщине красочного слоя

Fig. 6. The paint transfer process depending on the thickness of the paint layer

(более 40 %) для имитации офсетного способа печати (рис. 6). На бумаге обоих вариантов восприятие краски однородное.

Полученные результаты позволяют предположить, что печать на бумаге с добавками синтетических волокон по полному циклу изготовления изделий возможна.

Выводы

1. Показана возможность изготовления специальных видов бумаги для печати с повышенной износостойкостью.

В рамках разработанной технологии возможно направленное дозирование синтетических волокон с учетом их количества и исходных характеристик (природы, длины, толщины), а также управление привесом пропиточного состава с целью получения износостойкой бумаги.

2. Использование синтетических волокон в композиции бумаги позволяет увеличить и стабилизировать потребительские характеристики износостойкой бумаги, особенно такие, как сопротивление раздиранию и прочность на излом.

3. Относительная дешевизна и доступность синтетического волокна по сравнению с хлопковой целлюлозой позволяет расширить сырьевую базу и ассортимент выпускаемой продукции.

4. Показана возможность печати на износостойкой бумаге с добавками синтетических волокон по полному циклу изготовления изделий. При толщине красочного слоя, соответствующего офсетной печати, отмечен высокий процент переноса краски (более 40 %).

Список литературы

- Аким Э.Л. Обработка бумаги. Москва, Лесная промышленность, 1979. 232 с.
- Гутман Б.Б., Янченко Л.П., Гуревич Л.И. Бумага из синтетических волокон. М.: Лесная промышленность, 1971. 184 с.
- Иванов С.Н. Технология бумаги. М.: Школа бумаги, 2006. 696 с.
- Фляте Д.М. Свойства бумаги. СПб.: Мир и семья-95, 1999. 384 с.
- Монкрифф Р.У. Химические волокна. М.: Легкая индустрия, 1964. 606 с.
- Садов Ф.И., Корчагин М.В., Матецкий А.И. Химическая технология волокнистых материалов. М.: Легкая индустрия, 1968. 784 с.
- Химические волокна / под ред. А.А. Конкина. М.: Гос. науч.-техн. изд. химической литературы, 1958. 52 с.
- Перепелкин К.Е. История и хронология развития химических волокон в мире // Химические волокна, 2002. № 5. С. 3–11.
- Перепелкин К.Е. Прошлое, настоящее и будущее химических волокон. М.: МГТУ, 2004. 208 с.
- Иванов С.Н., Горский Г.М. Синтетические волокна из поливинилового спирта в бумажном производстве // Бумажная промышленность, 1964. № 1. С. 4–6.
- Композиционные материалы волокнистого строения / под ред. И.Н. Францевича, Д.М. Карпиной. Киев: Наукова думка, 1970. 400 с.

- [12] Смолин А.С. Межволоконные связи и макроструктура бумаги и картона: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.03. СПб., 1999.
- [13] Security Paper highly resistant to double folding and method for making same. Пат. US2007/0164556 A1 / Henri Rosset, Pierre Doublet, патентообладатель Arjowiggins; заявл. 29.12.2004, опубл. 19.07.2007., 5 с.
- [14] Fibrous substrate for insert including an antenna. Пат. US2010/0321248 A1 / Sandrine Rancien, Celine Despous, патентообладатель Arjowiggins; заявл. 04.07.2004, опубл. 23.12.2010., 11 с.
- [15] Куркова Е.В., Иванов Г.Е., Мартянова О.С. Бумага с синтетическими волокнами // Матер. III Международной научно-технической конференции «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов», посвященной памяти профессора В.И. Комарова. Архангельск, САФУ, 9–11 сентября 2015 г. Архангельск: САФУ, 2015. С. 88–93.
- [16] Крылатов Ю.А., Ковернинский И.Н. Проклейка бумаги. М.: Лесная пром-сть, 1987. 288 с.
- [17] Вдовина О.С. Поверхностная проклейка бумаги и картона синтезированным полимерным клеем: Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03. Красноярск, 2016. 182 с.
- [18] Аким Э.Л. Синтетические полимеры в бумажной промышленности. М.: Лесная пром-сть, 1986. 248 с.
- [19] Химия в ЦБП: Сб. трудов Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, СПбГТУ, 11–12 декабря 2008 г. / под ред. А.Н. Иванова. СПб.: СПбГТУ, 2008. 88 с.
- [20] Banknote-paper / Diamone. URL: <https://www.security.arjowiggins.com/banknote-paper/diamone> (дата обращения 24.07.2018).
- [21] Хомутильников Н.В., Куркова Е.В., Говязин И.О., Иванов Г.Е., Мартянова О.С. Грязестойкая бумага для банкнот // Целлюлоза. Бумага. Картон, 2016. № 9. С. 50–54.

Сведения об авторах

Мартянова Ольга Сергеевна — научный сотрудник отдела технологии бумаги НИИ — филиала АО «Гознак», Martyanova_O_S@goznak.ru

Хомутильников Николай Васильевич — канд. техн. наук, начальник отдела технологии бумаги НИИ — филиала АО «Гознак», Nomutinnikov_N_V@goznak.ru

Куркова Елена Владимировна — канд. техн. наук, заместитель начальника отдела технологии бумаги НИИ — филиала АО «Гознак», Kurkova_E_V@goznak.ru

Иванов Геннадий Егорович — канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела технологии бумаги НИИ — филиала АО «Гознак», Ivanov_G_E@goznak.ru

Говязин Игорь Олегович — старший научный сотрудник отдела технологии бумаги НИИ — филиала АО «Гознак», Govyazin_I_O@goznak.ru

Кононов Георгий Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-корр. РАЕН, ученый секретарь секции химии и химической технологии древесины РХО им. Д.И. Менделеева, Kononov@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 23.05.2018.

Принята к публикации 30.08.2018.

USE OF SYNTHETIC FIBERS FOR SPECIAL TYPES OF PAPER PRODUCTION

O.S. Mart'yanova¹, N.V. Khomutinnikov¹, E.V. Kurkova¹, G.E. Ivanov¹,
I.O. Govyazin¹, G.N. Kononov²

¹Research Institute — Branch of the Joint-Stock Company «Goznak», Department of Paper Technology, 19, Mytnaya st., 115162, Moscow, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

Martyanova_O_S@goznak.ru

Special features of synthetic fibers such as biostability, chemical inertness, high strength, increased elasticity and deformation resistance become important distinctive properties of a new type of fibrous raw material for production of special types of printing paper. Addition of synthetic fibers to a fibrous paper composition with special properties contributes to a direct change in physical and mechanical characteristics and production of cellulosic composite material with the increased elasticity, resistance to tear and wear. The effect of various types of production prototypes of synthetic fibers, as well as their parameters (length, thickness) on change in basic consumer characteristics of special types of printing paper is shown in the work. An increase in weight of the impregnating composition based on modern water-diluted dispersions of polymers per unit area of paper web with synthetic fiber additives has been noted, which makes it possible to obtain a new cellulose composite material with increased elasticity, resistance to tear and wear while keeping special and printing properties. The type and brand of synthetic fibers were selected based on the research carried out, the effect of the additives on the basic consumer physical and mechanical characteristics of the paper web, printing properties, structure of its surface, and readability of the watermark was determined. The given data can be used in the manufacturing technology of special types of printing paper.

Keywords: paper, synthetic fibers, polyester or polyamide fibers, physical and mechanical properties of paper, surface treatment of paper, wear resistance

Suggested citation: Mart'yanova O.S., Khomutinnikov N.V., Kurkova E.V., Ivanov G.E., Govyazin I.O., Kononov G.N. *Ispol'zovanie sinteticheskikh volokon dlya izgotovleniya spetsial'nykh vidov bumagi* [Use of synthetic fibers for special types of paper production]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 113–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-113-120

References

- [1] Akim E.L. *Obrabotka bumagi* [Paper handling]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1979, 232 p.
- [2] Gutman B.B., Yanchenko L.P., Gurevich L.I. *Bumaga iz sinteticheskikh volokon* [Paper from synthetic fibres] Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1971, 184 p.
- [3] Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi* [Technology of paper]. Moscow: Shkola bumagi [School of Paper], 2006, 696 p.
- [4] Flyate D.M. *Svoystva bumagi* [Paper properties]. Sankt-Peterburg: Mir i sem'ya-95 [Peace and Family-95], 1999, 384 p.
- [5] Monkrieff R.W. *Khimicheskiye volokna* [Chemical fibres]. Moscow: Legkaya industriya [Light Industry], 1964, 606 p.
- [6] Sadov F.I., Korchagin M.V., Matetskii A.I. *Khimicheskaya tekhnologiya voloknistykh materialov* [Chemical technology of fibrous materials]. Moscow: Legkaya industriya. [Light Industry], 1968, 784 p.
- [7] *Khimicheskie volokna* [Chemical fibers]. Ed. A.A. Konkin. Moscow: Gos. nauch.-tekhn. izd. khimicheskoy literatury, 1958, p. 52.
- [8] Perepelkin K.E. *Istoriya i khronologiya razvitiya khimicheskikh volokon v mire* [History and chronology of the development of chemical fibers in the world]. *Khimicheskie volokna* [Chemical Fibers], 2002, no. 5, pp. 3–11.
- [9] Perepelkin K.E. *Proshloe, nastoyashchee i budushchee khimicheskikh volokon* [The past, present and future of chemical fibers]. Moscow: MGTU, 2004, 208 p.
- [10] Ivanov S.N., Gorskiy G.M. *Sinteticheskie volokna iz polivinilovogo spirta v bumazhnom proizvodstve* [Synthetic fibers from polyvinyl alcohol in paper production]. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper Industry], 1964, no. 1, pp. 4–6.
- [11] Frantsevich I.N. *Kompozitsionnye materialy voloknistogo stroeniya* [Composite materials of fibrous structure]. Ed. I.N. Frantsevich, D.M. Carpina. Kiev: Naukova Dumka, 1970, 400 p.
- [12] Smolin A.S. *Mezhvolokomnye svyazi i makrostruktura bumagi i kartona* [Interfiber connection and macrostructure of paper and cardboard]. Abstract of the dis. ... Dr. Sci. (Tech.): 05.21.03. Saint Petersburg, 1999.
- [13] Security Paper highly resistant to double folding and method for making same. Pat. US2007/0164556 A1, Inventors: Henri Rosset, Pierre Doublet, Assignee: Arjowiggins; claimed 29.12.2004, publ. 19.07.2007.
- [14] Fibrous substrate for insert including an antenna. Pat. US2010/0321248 A1, Inventors: Sandrine Rancien, Celine Desnous, Assignee: Arjowiggins; claimed 04.07.2004, publ. 23.12.2010.
- [15] Kurkova E.V., Ivanov G.E., Mart'yanova O.S. *Bumaga s sinteticheskimi voloknami* [Paper with synthetic fiber]. Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov», posvyashchennoy pamyati professora V.I. Komarova. Arkhangel'sk, SAFU, 9–11 sentyabrya 2015 g. [Proceedings III International Conference in memory of Professor Valery Komarov «The issues in mechanics of pulp and paper materials»]. Arkhangel'sk, SAFU, 2015, pp. 88–93.
- [16] Krylatov I.A., Koverninskiy I.N. *Prokleika bumagi* [Paper sizing], Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1987, 288 p.
- [17] Vdovina O.S. *Poverkhnostnaya prokleyka bumagi i kartona sintezirovannym polimernym kleem* [Surface sizing of paper and paperboard with synthesized polymeric glue]. Abstract of diss. ... Cand. Sci. (Tech.): 05.21.03. Krasnoyarsk, 2016, 182 p.

- [18] Akim E.L. *Sinteticheskiye polimery v bumazhnoy promyshlennosti* [Synthetic polymers in the paper industry]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1986, 248 p.
- [19] *Khimiya v TsBP: Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Chemistry in the pulp and paper industry]. Sankt-Peterburg, SPbGTU, 11–12 dekabrya 2008 g. Ed. A.N. Ivanov. Saint Petersburg: SPbGTU, 2008, 88 p.
- [20] Banknote-paper / Diamone. URL: <https://www.security.arjowiggins.com/banknote-paper/diamone> (accessed 24.07.2018).
- [21] Khomutinnkov N.V., Kurkova E.V., Govyazin I.O., Ivanov G.E., Mart'yanova O.S. *Gryazestoykaya bumaga dlya banknot*. [Anti-pollution type paper for banknotes]. Tsellyuloza. Bumaga. Karton [Cellulose. Paper. Cardboard], 2016, no. 9, pp. 50–54.

Authors' information

Mart'yanova Ol'ga Sergeevna — Research Scientist of the Department of Paper Technology at the Research and Development Institute — branch of JSC «Goznak», Martyanova_O_S@goznak.ru

Khomutinnikov Nikolay Vasil'evich — Cand. Sci. (Tech.), Head of the department of Paper Technology at the Research and Development Institute — branch of JSC «Goznak», Homutinnikov_N_V@goznak.ru

Kurkova Elena Vladimirovna — Cand. Sci. (Tech.), Deputy Manager of Department of Paper Technology at the Research and Development Institute — branch of JSC «Goznak», Kurkova_E_V@goznak.ru

Ivanov Gennadiy Egorovich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Research Scientist of the Department of Paper Technology at the Research and Development Institute — branch of JSC «Goznak», Ivanov_G_E@goznak.ru

Govyazin Igor' Olegovich — Senior Research Scientist of the Department of Paper Technology at the Research and Development Institute — branch of JSC «Goznak», Govyazin_I_O@goznak.ru

Kononov Georgiy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of Section Chemistry and Engineering Chemistry of Wood Mendeleev Russian Chemical Society, Kononov@mgul.ac.ru

Received 23.05.2018.

Accepted for publication 30.08.2018.