

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОФИБРИЛЛЯРНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В КОМПОЗИЦИИ БУМАГИ ДЛЯ ГОФРИРОВАНИЯ

Л.И. Семкина¹, Н.В. Сарана¹, Е.В. Лепешкина¹, Е.М. Товстошуров¹,
Н.Л. Горячев¹, Е.Т. Тюрин¹, А.А. Зуйков¹, С.А. Константинова², А.А. Новиков²

¹ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», 141260, Московская обл., Пушкинский р-н, пос. Правдинский, ул. Ленина, д. 15/1

²ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина», 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 65

cniiib@mail.ru

Приведены результаты исследований водных дисперсий природных высокомолекулярных соединений растительного происхождения, в частности древесной нанофибриллярной целлюлозы, полученной путем поэтапной деполимеризации целлюлозы с использованием кислотного гидролиза и механической обработки. Изучено влияние полученных образцов нанофибриллярной целлюлозы на основные показатели механической прочности бумаги для гофрирования (промежуточного слоя гофрокартона) при введении их в бумажную массу в количестве 0,5 %; 1; 3; 5; 12; 20 %. Показано, что введение нанофибриллярной целлюлозы в композицию бумаги из 100 % макулатуры для гофрирования повышает все показатели механической прочности, причем наибольший их рост наблюдался при введении нанофибриллярной целлюлозы в количестве до 12 %.

Ключевые слова: наноцеллюлоза, нанофибриллярная целлюлоза, микроскопическое исследование, макулатура, бумага для гофрирования, гофрокартон, механические показатели бумаги

Ссылка для цитирования: Семкина Л.И., Сарана Н.В., Лепешкина Е.В., Товстошуров Е.М., Горячев Н.Л., Тюрин Е.Т., Зуйков А.А., Константинова С.А., Новиков А.А. Применение нанофибриллярной целлюлозы в композиции бумаги для гофрирования // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 2. С. 119–126. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-119-126

В последние годы в мире значительно вырос интерес к использованию наноматериалов. Нанотехнологии и наноматериалы применяются уже во многих отраслях, в частности в промышленности, обороне, энергетике, биотехнологиях, медицине. Судя по росту мировых инвестиций в развитие нанотехнологий, использование наноматериалов в ближайшем будущем станет одним из определяющих факторов экономического развития.

В зарубежных странах имеется опыт производства и применения наноцеллюлозы (НЦ) в авиастроении, электронике, производстве строительных материалов и других отраслях, в том числе и в целлюлозно-бумажной. Производимая в Канаде, Германии и других странах НЦ марки ARBOCEL NANO MF 40 была разработана в целях применения в целлюлозно-бумажной промышленности для облагораживания и мелования бумаги и картона [1]. Ее свойства приведены в соответствии с имеющимися технологическими требованиями. При этом лабораторные, пилотные и производственные эксперименты показали, что НЦ можно применять как самостоятельную добавку для улучшения механических показателей бумаги, а также для полной или частичной замены водорастворимых связующих (крахмала, NaКМЦ или поливинилового спирта), в результате чего наряду с качественным улучшением

бумажной продукции может быть достигнута экономия затрат на ее производство.

Наноцеллюлоза является очень перспективным наноматериалом ввиду наличия доступной и возобновляемой сырьевой базы. Сырьем для ее производства служит практически любой целлюлозосодержащий материал — древесина, хлопок, конопля, лен и другие продукты растениеводства, а также отходы переработки сельскохозяйственной продукции, например сахарной свеклы [2–4]. Поскольку в России имеется значительное количество лесных ресурсов, целесообразно вести работы в данном направлении.

За рубежом в последние десятилетия широко проводятся исследования по получению НЦ и ее использованию при производстве бумаги, однако в основном в лабораторных условиях.

В результате изучения влияния НЦ на физико-механические показатели бумаги [5–12] было установлено, что ее использование в качестве добавки в бумагу и картон в зависимости от композиции, массы 1 м² и количества добавленной НЦ приводит к следующим изменениям показателей качества бумаги:

- умеренному повышению прочности на разрыв в сухом состоянии на 9...20 % (больше для целлюлозы, чем для древесной массы);
- снижению воздухопроницаемости на 20...30 %;

- уменьшению непрозрачности на 2...3 %;
- увеличению плотности на 3...17 %;
- повышенному гигрорасширению до 30 %.

В связи с тем что НЦ не адсорбируется на целлюлозном волокне, для повышения ее удержания в работе [11] было предложено использовать катионные добавки, в частности полиамидаминэпихлоргидриновую смолу (ПАЕ). Масса сначала обрабатывается ПАЕ, а затем в нее вводится НЦ в количестве 60...100 мг/г. При этом индекс разрыва при растяжении увеличивается от 2 до 2,5 раза в сухом состоянии и более чем в 3 раза во влажном.

При введении НЦ в бумажную массу в работах [7–10] отмечается ухудшение обезвоживания массы при отливе и уменьшение содержания сухих веществ после влажного прессования. Время обезвоживания массы увеличивается от 60 до 100 %, а содержание сухих веществ после прессования снижается от 0,5 до 4 %.

В настоящее время еще недостаточно изучено удержание НЦ при отливе бумаги и картона [13–18]. Основная причина заключается в том, что НЦ трудно обнаружить в бумаге, так как она химически подобна целлюлозе, а после сушки фибриллы нельзя увидеть под микроскопом.

В Российской Федерации отсутствует промышленное производство НЦ и в процессах получения бумаги и картона она не применяется, однако разработки проводятся.

Цель работы

Целью работы является изучение влияния нанопибриллярной целлюлозы (НФЦ) на свойства бумаги для гофрирования, которая применяется при производстве гофрокартона в качестве промежуточного слоя.

Материалы и методы

При проведении исследований использовались два образца нанопибриллярной целлюлозы, изготовленные в ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина» путем поэтапной деполимеризации целлюлозы с применением кислотного гидролиза и механической обработки. Образец НФЦ № 1 был изготовлен из целлюлозы белой сульфатной листовенной производства АО «Архангельский ЦБК», образец НФЦ № 2 — из небеленой сульфитной хвойной целлюлозы производства АО «Соликамскбумпром» (табл. 1). По своему функциональному (химическому) составу полученные образцы полностью идентичны функциональному составу микрокристаллической целлюлозы (установлено методом ИК-Фурье спектроскопии).

В ОАО «ЦНИИБ» проанализировано распределение частиц по длине волокон представленных

Т а б л и ц а 1

Характеристика экспериментальных образцов нанопибриллярной целлюлозы Characteristic of experimental nanofibrillated cellulose samples

Наименование показателя	НФЦ № 1	НФЦ № 2
Физическое состояние	Гидрогель без посторонних включений	
Содержание твердого вещества, %	9,0 ~ 11,0	2,0
Вязкость ($t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, концентрация 2,0 %), мПа	Не менее 6500	–
Цвет	Белый	
Вкус	Безвкусный	
Запах	Без запаха	
pH	Нейтральный (6,5–7,0)	
Светопропускание	При прохождении видимого цвета через гель наблюдается явление опалесценции (эффект Тиндаля)	

Т а б л и ц а 2

Распределение волокон нанопибриллярной целлюлозы по длине, % (объемный) Fiber length distribution of NFC

Длина волокна НФЦ, мкм	НФЦ № 1	НФЦ № 2
1	0,6	0,2
1,1	0,7	0,3
1,2	0,8	0,3
1,3	1,0	0,4
10	21,0	9,7
11	24,1	11,2
25	52,5	32,5
100	85,1	88,6
315	99,6	100,0
500	100,0	100,0

образцов НФЦ с применением лазерного дифракционного анализатора ANALYSETTE 22 Micro-Tecplus фирмы FRITZSCH (Германия). Диапазон измерения размера частиц на данном приборе — от 0,08 до 2000,00 мкм (рис. 1, табл. 2).

Полученная кривая (см. рис. 1, а) распределения длин волокон образца НФЦ № 1 имеет два максимума: 15...16 мкм и 70...80 мкм. Кривая распределения длин волокон образца НФЦ № 2 (см. рис. 1, б) существенно отличается по виду от кривой распределения длин волокон образца НФЦ № 1: на ней имеется один максимум 50...60 мкм.

В табл. 2 представлена объемная доля фракций волокон по длине для каждого образца НФЦ по трем параллельным пробам.

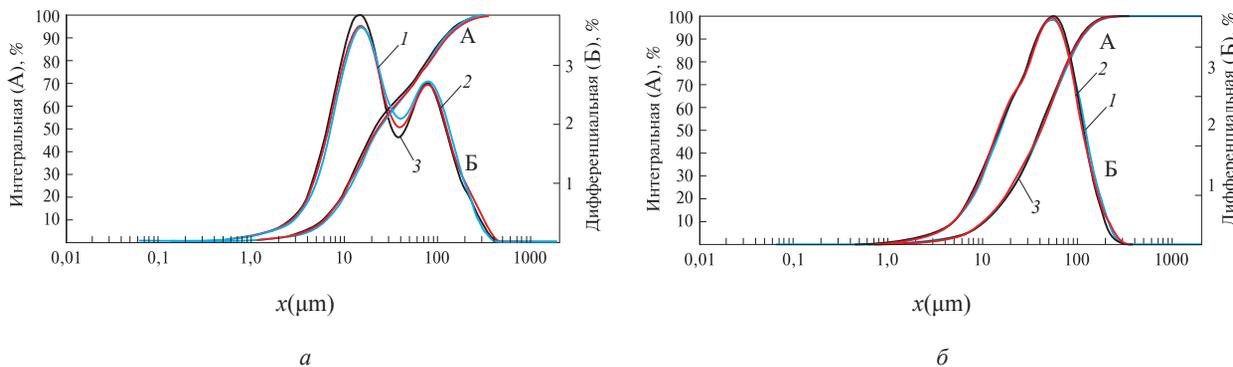
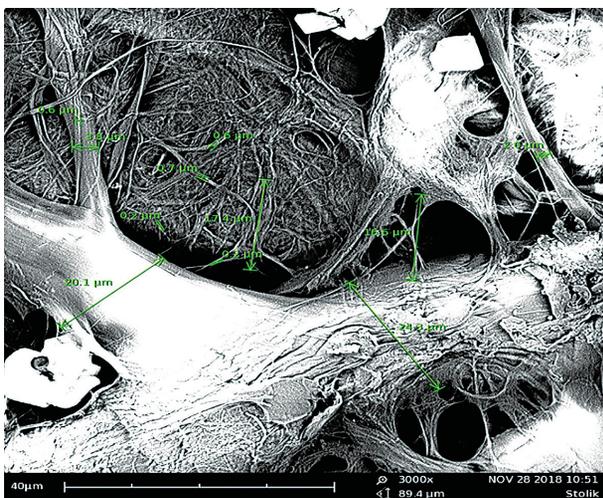
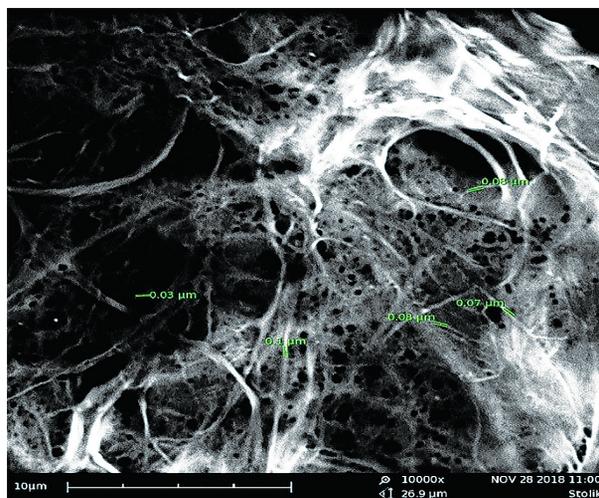


Рис. 1. Кривая распределения длин волокон образца: *a* — НФЦ № 1; *б* — НФЦ № 2; 1–3 — результаты измерений параллельных проб
Fig.1. Fiber length distribution curve: *a* — NFC No. 1; *б* — NFC No. 2; 1–3 — results of measurements of parallel samples



a



б

Рис. 2. Фото высушенной на воздухе пленки гидрогеля образца НФЦ № 1; увеличение: *a* — 3000 x; *б* — 10000 x
Fig. 2. Photo of air-dried NFC hydrogel film from sample No. 1; increase: *a* — 3000 x; *б* — 10000 x

Из полученных данных видно, в образце НФЦ № 1 больше коротких волокон, но имеются и длинные волокна, т. е. кривая распределения длин волокон образца НФЦ № 1 имеет более размытый характер. Максимумы на кривой распределения образца НФЦ № 1 15...16 и 70...80 мкм не совпадают с максимумом образца НФЦ № 2 50...60 мкм, который находится в области, близкой к минимальной точке перегиба кривой образца НФЦ № 1 — 40 мкм.

Проведены микроскопические исследования высушенных образцов НФЦ с использованием микроскопа Phenom 2 (рис. 2, 3).

На микрофотографиях образцов НФЦ видно, что только часть волокон имеет наноразмерную ширину (менее 0,1 мкм), в то время как основная масса волокон имеет большую ширину, равную нескольким десяткам мкм. По визуальной оценке, в образце НФЦ № 1 наноразмерных волокон больше, чем в образце НФЦ № 2.

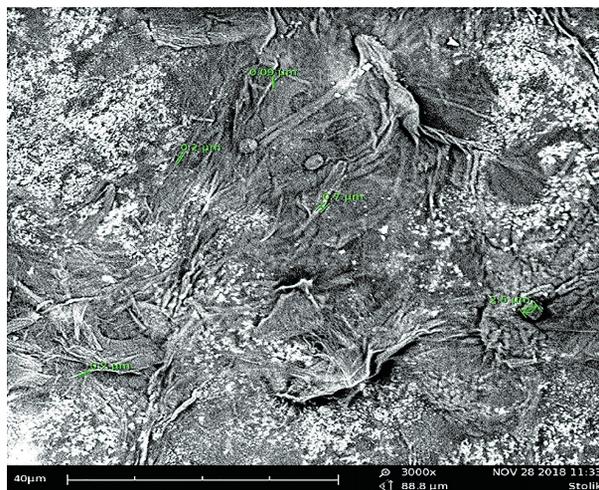


Рис. 3. Фото высушенной на воздухе пленки гидрогеля образца НФЦ № 2; увеличение 5000 x
Fig. 3. Photo of air-dried NFC hydrogel film from sample No. 2; increase 5000 x

Т а б л и ц а 3

Результаты испытаний лабораторных образцов бумаги для гофрирования с различным содержанием НФЦ (образец № 1)

The results of testing laboratory corrugating paper samples with different NFC content (sample No. 1)

Показатель	Опыт 1					Опыт 2		
	0	0,5	1,0	3,0	5,0	0	12	20
Расход НФЦ, %	0	0,5	1,0	3,0	5,0	0	12	20
Абсолютное сопротивление продавливанию кПа	351	349	350	368	379	383	484	495
Удельное сопротивление разрыву, кН/м	6,3	6,3	6,3	6,8	7,1	6,7	8,7	9,0
Сопротивление плоскостному сжатию, Н	207	205	207	214	218	227	266	273
Сопротивление торцовому сжатию, кН/м	1,58	1,57	1,59	1,78	1,82	1,81	2,20	2,37
Прочность на излом, число двойных перегибов	199	–	346	–	571	313	671	687

Т а б л и ц а 4

Результаты испытаний лабораторных образцов бумаги для гофрирования с различным содержанием НФЦ (образец № 2)

The results of testing laboratory corrugating paper samples with different NFC content (sample No. 2)

Показатель	Опыт 1					Опыт 2		
	0	0,5	1,0	3,0	5,0	0	12	20
Расход НФЦ, %	0	0,5	1,0	3,0	5,0	0	12	20
Абсолютное сопротивление продавливанию кПа	330	335	336	347	350	373	400	414
Удельное сопротивление разрыву, кН/м	5,7	5,9	6,1	6,2	6,3	6,9	7,8	7,9
Сопротивление плоскостному сжатию, Н	184	187	192	203	206	193	223	221
Сопротивление торцовому сжатию, кН/м	1,49	1,51	1,54	1,63	1,70	1,82	2,08	2,05
Прочность на излом, число двойных перегибов	176	–	201	–	240	366	362	283

Т а б л и ц а 5

Относительное изменение показателей качества бумаги для гофрирования с различным содержанием НФЦ

Relative change of corrugating paper quality with different NFC content

Показатель	Расход НФЦ, %					
	5		12		20	
	НФЦ № 1	НФЦ № 2	НФЦ № 1	НФЦ № 2	НФЦ № 1	НФЦ № 2
Удельное сопротивление разрыву	12,7	10,3	28,0	13,0	35,0	14,5
Абсолютное сопротивление продавливанию	8,0	6,1	26,2	7,2	29,2	11,0
Сопротивление торцовому сжатию	15,2	14,1	23,4	14,3	30,0	12,7
Сопротивление плоскостному сжатию	5,3	12,0	17,1	15,5	20,3	14,5
Прочность на излом	186,9	36,4	114,3	-1,1	119,5	-22,7

Исследования образцов НФЦ, проведенные в ОАО «ЦНИИБ», показали, что два переданных на испытания образца существенно различаются между собой.

Влияние добавок НФЦ изучено применительно к их использованию в технологии производства бумаги для гофрирования (промежуточного слоя гофрокартона) путем изготовления лабораторных образцов при массе 1 м², равной 125 ± 5 г, на листоотливном аппарате Рапид-Кеттен по следующим технологическим параметрам:

- Состав по волокну:
- макулатура марки МС-5Б, % 100
- Степень помола макулатурной массы, °ШР 34–38

Расход химикатов (а.с.в), %:

- катионный крахмал
- марки Empresol N 0,6
- клей на основе димеров алкилкетенов
- марки Флоусайз 0,2
- нанофибриллярная целлюлоза ... от 0 до 20,0

Результаты и обсуждение

Влияние добавок образцов НФЦ к макулатурной массе в количестве от 0 (контрольный вариант) до 20,0 % на показатели качества лабораторных образцов бумаги для гофрирования приведено в табл. 3 и 4.

Принимая во внимание то, что образцы НФЦ передавались для испытания в разное время, при-

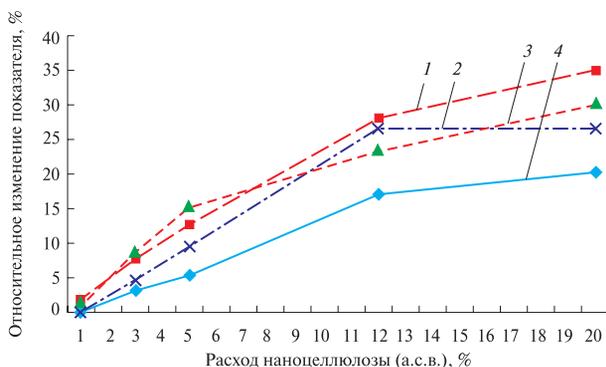


Рис. 4. Относительное изменение показателей качества бумаги для гофрирования от расхода НФЦ № 1: 1 — удельное сопротивление разрыву; 2 — абсолютное сопротивление продавливанию; 3 — сопротивление торцовому сжатию; 4 — сопротивление плоскостному сжатию

Fig. 4. The relative change in the quality indicators of paper for corrugation from the consumption of the NFC No. 1: 1 — specific tensile strength; 2 — absolute bursting resistance; 3 — resistance to mechanical compression; 4 — resistance to plane compression

ходилось каждый раз готовить новую партию макулатурной массы и, соответственно, новый контрольный вариант бумаги для сравнения. В этих условиях правильнее сравнивать относительные изменения значений показателей качества бумаги, а не абсолютные их величины (рис. 4, 5, табл. 5) [19–26].

Из представленного табличного и графического материала видно, что при введении НФЦ в бумажную массу все показатели бумаги улучшаются. При этом больший эффект достигается при использовании образца НФЦ № 1.

Замечено различное влияние образцов НФЦ № 1 и НФЦ № 2 на показатель прочности на излом. При введении образца НФЦ № 1 наблюдался значительный прирост показателя (более 100 %), добавка образца НФЦ № 2 в бумажную массу при расходе 5 % приводила к повышению показателя на 38,4 %, а при расходе 12 % сопровождалась его снижением, что, возможно, объясняется меньшим содержанием в образце НФЦ № 2 наноразмерных волокон целлюлозы. Присутствие же в бумажной массе большого количества целлюлозной мелочи обычно отрицательно отражается на показателе прочности на излом.

Выводы

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно отметить следующее:

- согласно микрофотографическому анализу образцов НФЦ наряду с отдельными нанофибриллами, имеющими наноразмерную ширину менее 0,1 мкм, содержит крупные фрагменты микрофибрилл шириной до нескольких десятков мкм;
- по визуальной оценке, в образце НФЦ № 1 наноразмерных волокон содержится больше, чем в образце НФЦ № 2;

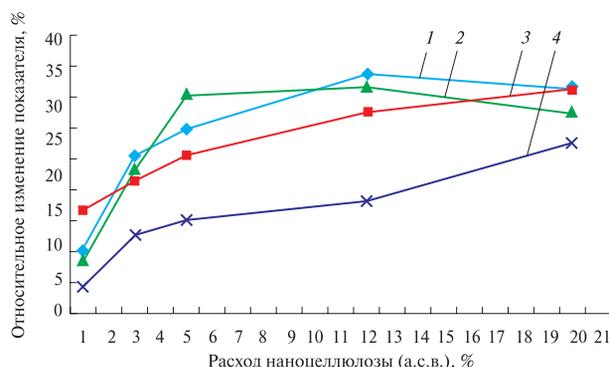


Рис. 5. Относительное изменение показателей качества бумаги для гофрирования от расхода НФЦ № 2: 1 — удельное сопротивление разрыву; 2 — абсолютное сопротивление продавливанию; 3 — сопротивление торцовому сжатию; 4 — сопротивление плоскостному сжатию

Fig. 5. The relative change in the quality indicators of paper for corrugation from the consumption of the NFC No. 2: 1 — specific tensile strength; 2 — absolute bursting resistance; 3 — resistance to mechanical compression; 4 — resistance to plane compression

– введение в размолотую бумажную массу исследуемых образцов НФЦ способствовало повышению всех механических показателей качества бумаги для гофрирования;

– эффективность применения образцов НФЦ, полученной из разного сырья, различна. Лучший прирост значений показателей качества бумаги был получен в основном при использовании НФЦ, изготовленной из белой сульфатной лиственной целлюлозы, т. е. из образца НФЦ № 1.

Особо заметное различное влияние оказало введение образцов НФЦ на показатель прочности на излом — образец НФЦ № 1 вызвал прирост показателя более чем на 100 %, а образец НФЦ № 2 — при расходах 12 % и более привел даже к снижению этого показателя.

Наибольший рост значений показателей качества наблюдался при введении НФЦ в композицию бумаги для гофрирования до 12 %, при дальнейшем увеличении расхода НФЦ до 20 % рост показателей качества замедлялся (образец НФЦ № 1) или показатели качества бумаги даже ухудшались (образец НФЦ № 2).

Применение НФЦ при производстве упаковочных материалов позволяет повысить показатели механической прочности, что обеспечит возможность создания более прочных материалов с использованием дешевых видов сырья.

Список литературы

[1] Schlosser H. Nano Disperse Cellulose und Nano Fibrillierte Cellulose – neue Produkte für die Herstellung und Veredelung von Papier und Karton // Wochenblatt für Papierfabrikation, 2008, no. 6, pp. 252–263.
 [2] Наноцеллюлоза: рынок и перспективы. URL: <https://www.agroxxi.ru/anonsy/nanocelluloza-rynok-i-perspektivy.html> (дата обращения 10.10.2019).

- [3] Прошина О.П., Олиференко Г.Л., Евдокимов Ю.М., Иванкин А.Н., Наноцеллюлоза и получение бумаги на ее основе // Тез. докл. Междунар. конф. «Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе». Москва, 15–17 ноября, 2011. М.: МГУЛ, 2011. С. 24–28.
- [4] Инновационный портал Белгородской области. URL: <http://innovation.derbo.ru/ik/efko> (дата обращения 10.10.2019).
- [5] Eriksen O., Syverud K., Gregersen O. The Use of Microfibrillated Cellulose Produced from Kraft Pulp as Strength Enhancer in TMP Paper // Nordic Pulp and Paper Research J., 2008, no. 23 (3), pp. 299–304.
- [6] Taipale T., Osterberg M., Nykanen A., Ruokolainen J., Laine J. Effect of Microfibrillated Cellulose and Fines on the Drainage of Kraft Pulp Suspension and Paper Strength // Cellulose, 2010, no. 17(5), pp. 1005–1020.
- [7] Manninen M., Kajanto I., Happonen J., Paltakari J. The Effect of Microfibrillated Cellulose Addition on Drying Shrinkage and Dimensional Stability of Wood-Free Paper // Nordic Pulp and Paper Research Journal, 2011, no. 26(3), pp. 297–305.
- [8] Hejnsson-Hultén A., Basta J., Samuelsson M., Greschik T., Ander P., Daniel G. The Influence of Microfibrillated Cellulose (MFC) on Paper Strength and Surface Properties // Bioresources, 2012, no. 7(3), pp. 3051–3063.
- [9] Henschen J., Li D., Ek M. Preparation of cellulose nanomaterials via cellulose oxalates // Carbohydrate Polymers, 2019, v. 213, no. 6, pp. 208–216.
- [10] Hii C., Gregersen Ø.W., Chinga-Carrasco G., Eriksen The Effect of MFC on the Pressability and Paper Properties of TMP- and GCC-Based Sheets // Nordic Pulp and Paper Research J., 2012, no. 27(2), pp. 388–396.
- [11] Kajanto I., Kosonen M. Potential use of micro- and nano-fibrillated cellulose as a reinforcing element in paper // J. of Science & Technology for Forest Products and Processes, 2012, v. 2, no. 6, pp. 42–48.
- [12] Ahola S. Properties and interfacial Behaviour of Cellulose Nanofibrils. Doctor Thesis // TKK Reports in Forest products Technology, ser. A4. Helsinki: Helsinki University of Technology, 2008, 82 p.
- [13] Петров В.А., Гибадуллин М.Р., Аверьянова Н.В., Мезиков В.К. Получение наноцеллюлозы и физико-механические характеристики пленок на ее основе // Вестник Казанского технологического университета, 2011. № 14. С. 181–185.
- [14] Yu Z., Rao G., Yan X., Huo P., Wang Ch., Savitskaya T., Hrynshpan. D. Preparation and properties of pea starch – poly lysine composite films // Science and Technology of Food Industry Journal, 2018, v. 39, no 13, pp. 89–94.
- [15] Ranby B.G. Fibrous macromolecular systems. Cellulose and muscle. The colloidal properties of cellulose micelles // Discuss. Faraday Soc., 1951, v. 11, pp. 158–164.
- [16] Grinshpan D.D., Gonchar A.N., Savitskaya T.A., Tsygankova N.G., Makarevich S.E. Rheological properties of cellulose-chitosan-phosphoric acid systems in different phase states // Polymer Science A, 2014, v. 56, no. 2, pp. 137–145.
- [17] Lavoine N., Desloges I., Dufresne A., Bras J. Microfibrillated cellulose – its barrier properties and applications in cellulosic materials: a review // Carbohydrate Polymers. 2012, v. 90, no. 3, pp. 735–764.
- [18] Рыжонков Д.И., Левина В.В., Дзидзигури Э.Л. Наноматериалы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 365 с.
- [19] Bondeson D., Mathew A., Oksman K. Optimization of the isolation of nanocrystals from microcrystalline cellulose by acid hydrolysis // Cellulose, 2006, v. 13, no. 4, pp. 171–180.
- [20] Moon R.J., Martini A., Naim J., Simonsen J., Youngblood J. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites // Chemical Society Reviews, 2011, v. 40, pp. 3941–3994.
- [21] Флягэ Д.М. Технология бумаги. М.: Лесн. пром-ть, 1988. 440 с.
- [22] Liu L., Kerr W.L., Kong F., Dee D.R., Lin M. Influence of nano-fibrillated cellulose (NFC) on starch digestion and glucose absorption // Carbohydrate Polymers, 2018, v. 196, no. 9, pp. 146–153.
- [23] Espinosa S.C., Kuhnt T., Foster E.J., Weder C. Isolation of thermally stable cellulose nanocrystals by phosphoric acid hydrolysis // Biomacromolecules, 2013, v. 14, no 4, pp. 1223–1230.
- [24] Revol J.F., Bradford H., Giasson J., Marchessault R.H., Gray D.G. Helicoidal self-ordering of cellulose microfibrils in aqueous suspension // International Journal of Biological Macromolecules, 1992, v. 14, no. 3, pp. 170–172.
- [25] Cherian J., Paulose J., Vysakh P. Harnessing nature's hidden material: Nano-Cellulose // Materials Today; Proceedings, 2018, v. 5, no. 5, part 2, pp. 12609–12614.
- [26] Araki J., Wada M., Kuga S., Okano T. Flow properties of microcrystalline cellulose suspension prepared by acid treatment of native cellulose // Colloids and Surf. A, 1998, v. 142, no. 1, pp. 75–82.

Сведения об авторах

Семкина Людмила Ивановна — зав. лабораторией бумаги ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», sniiib@mail.ru

Сарана Нинель Васильевна — канд. хим. наук, вед. науч. сотр. ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», sniiib@mail.ru

Лепешкина Елена Владимировна — науч. сотр. ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», sniiib@mail.ru

Товстошуров Евгений Михайлович — ст. науч. сотр. ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», sniiib@mail.ru

Горячев Никита Леонидович — канд. хим. наук, руководитель испытательного центра целлюлозно-бумажной продукции «ЦКАЛ» ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», sniiib@mail.ru

Тюрин Евгений Тимофеевич — канд. экон. наук, генеральный директор ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», sniiib@mail.ru

Зуйков Александр Александрович — канд. техн. наук, первый зам. ген. директора по науч. работе ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», sniiib@mail.ru

Константинова Светлана Алексеевна — канд. биол. наук, науч. сотр. ФГАОУ ВО «РГУ Нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина», novikov.a@gubkin.ru

Новиков Андрей Александрович — канд. хим. наук, ст. науч. сотр. ФГАОУ ВО «РГУ Нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина», novikov.a@gubkin.ru

Поступила в редакцию 14.10.2019.

Принята к публикации 19.12.2019.

NANOFIBRILLATED CELLULOSE IN CORRUGATING PAPER COMPOSITION

L.I. Semkina¹, N.V. Sarana¹, E.V. Lepeshkina¹, E.M. Tovstoshkurov¹, N.L. Goraychev¹, E.T. Tyurin¹, A.A. Zuikov¹, S.A. Konstantinova², A.A. Novikov²

¹Open stock company (OSC) «Central Paper Re-search Institute», 15/1, Lenina st., 141260, set. Pravdinski, Pushkinski district, Moscow reg., Russia

²Federal state autonomous higher educational institution «Russian University of Oil and Gas» (National Research University), «Gubkin University», 6, Leninski prospect, 119991, Moscow, Russia

cniiib@mail.ru

This article presents the results of research of aqueous dispersions of natural high molecular compounds of plant origin wood nanofibrillated cellulose, obtained by cellulose gradual depolymerization using acid hydrolysis and mechanical treatment. The effect of the obtained nanofibrillated cellulose samples on the mechanical strength of corrugating paper (intermediate layer of corrugated board) was also examined while adding them in 0,5 %; 1; 3; 5; 12; 20 % concentrations. The results of the experiments show that the addition of nanofibrillated cellulose in the composition of corrugating paper from 100 % waste paper leads to the increase of all indicators of mechanical strength. The greatest increase in the values of quality was observed at the addition of nanofibrillated cellulose in the composition of corrugating paper in the amount till 12 %.

Keywords: nanocellulose, nanofibrillated cellulose, microexamination, waste paper, corrugating paper, corrugated board, mechanical indicators of paper

Suggested citation: Semkina L.I., Sarana N.V., Lepeshkina E.V., Tovstoshkurov E.M., Goraychev N.L., Tyurin E.T., Zuikov A.A., Konstantinova S.A., Novikov A.A. *Primenenie nanofibrillyarnoy tsellyulozy v kompozitsii bumagi dlya gofirovaniya* [Nanofibrillated cellulose in corrugating paper composition]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 119–126. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-119-126

References

- [1] Schlosser H. Nano Disperse Cellulose und Nano Fibrillierte Cellulose – neue Produkte für die Herstellung und Veredelung von Papier und Karton. *Wochenblatt für Papierfabrikation*, 2008, no. 6, pp. 252–263.
- [2] *Nanotsellyuloza: rynek i perspektivy* [Nanocellulose: market and prospects]. URL: <https://www.agroxxi.ru/anonsy/nanocellyuloza-rynok-i-perspektivy.html> (accessed 10.10.2019).
- [3] Proshina O.P., Oliferenko G.L., Evdokimov Yu.M., Ivankin AN. *Nanotsellyuloza i poluchenie bumagi na ee osnove* [Nanocellulose and the preparation of paper based on it] Tez. dokl. Mezhdunar. konf. «Nanotekhnologii i nanomaterialy v lesnom komplekse» [Proc. report International conf. «Nanotechnologies and nanomaterials in the forest complex»]. Moscow, 15–17 November 2011. Moscow: MGUL, 2011, pp. 24–28.
- [4] *Innovatsionnyy portal Belgorodskoy oblasti* [Innovation portal of the Belgorod region]. URL: <http://innovation.derbo.ru/ik/efko> (accessed 10.10.2019).
- [5] Eriksen O., Syverud K., Gregersen O. The Use of Microfibrillated Cellulose Produced from Kraft Pulp as Strength Enhancer in TMP Paper // *Nordic Pulp and Paper Research J.*, 2008, no. 23 (3), pp. 299–304.
- [6] Taipale T., Osterberg M., Nykanen A., Ruokolainen J., Laine J. Effect of Microfibrillated Cellulose and Fines on the Drainage of Kraft Pulp Suspension and Paper Strength. *Cellulose*, 2010, no. 17(5), pp. 1005–1020.
- [7] Manninen M., Kajanto I., Happonen J., Paltakari J. The Effect of Microfibrillated Cellulose Addition on Drying Shrinkage and Dimensional Stability of Wood-Free Paper. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 2011, no. 26(3), pp. 297–305.
- [8] Hejnsson-Hultén A., Basta J., Samuelsson M., Greschik T., Ander P., Daniel G. The Influence of Microfibrillated Cellulose (MFC) on Paper Strength and Surface Properties. *Bioresources*, 2012, no. 7(3), pp. 3051–3063.
- [9] Henschen J., Li D., Ek M. Preparation of cellulose nanomaterials via cellulose oxalates. *Carbohydrate Polymers*, 2019, v. 213, no. 6, pp. 208–216.
- [10] Hii C., Gregersen Ø.W., Chinga-Carrasco G., Eriksen The Effect of MFC on the Pressability and Paper Properties of TMP- and GCC-Based Sheets. *Nordic Pulp and Paper Research J.*, 2012, no. 27(2), pp. 388–396.
- [11] Kajanto I., Kosonen M. Potential use of micro- and nanofibrillated cellulose as a reinforcing element in paper. *J. of Science & Technology for Forest Products and Processes*, 2012, v. 2, no. 6, pp. 42–48.
- [12] Ahola S. Properties and interfacial Behaviour of Cellulose Nanofibrils. Doctor Thesis. TKK Reports in Forest products Technology, ser. A4. Helsinki: Helsinki University of Technology, 2008, 82 p.
- [13] Petrov V.A., Gibadullin M.R., Averyanova N.V., Mezikov V.K. *Poluchenie nanotsellyulozy i fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki plenok na ee osnove* [Preparation of nano cellulose and physicomechanical characteristics of films based on it] *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2011, no. 14, pp. 181–185.
- [14] Yu Z., Rao G., Yan X., Huo P., Wang Ch., Savitskaya T., Hrynshpan. D. Preparation and properties of pea starch – poly lysine composite films. *Science and Technology of Food Industry Journal*, 2018, v. 39, no 13, pp. 89–94.
- [15] Ranby B.G. Fibrous macromolecular systems. Cellulose and muscle. The colloidal properties of cellulose micelles. *Discuss. Faraday Soc.*, 1951, v. 11, pp. 158–164.
- [16] Grinshpan D.D., Gonchar A.N., Savitskaya T.A., Tsygankova N.G., Makarevich S.E. Rheological properties of cellulose-chitosan-phosphoric acid systems in different phase states. *Polymer Science A*, 2014, v. 56, no. 2, pp. 137–145.
- [17] Lavoine N., Desloges I., Dufresne A., Bras J. Microfibrillated cellulose – its barrier properties and applications in cellulosic materials: a review. *Carbohydrate Polymers*. 2012, v. 90, no. 3, pp. 735–764.
- [18] Ryzhonkov D.I., Levina V.V., Dzidzigiri E.L. *Nanomaterialy* [Nanomaterials]. Moscow: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2008, 365 p.

- [19] Bondeson D., Mathew A., Oksman K. Optimization of the isolation of nanocrystals from microcrystalline cellulose by acid hydrolysis. *Cellulose*, 2006, v. 13, no. 4, pp. 171–180.
- [20] Moon R.J., Martini A., Nairn J., Simonsen J., Youngblood J. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews*, 2011, v. 40, pp. 3941–3994.
- [21] Flate D.M. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology]. Moscow: Lesn. prom-t' [Forest Industry], 1988, 440 p.
- [22] Liu L., Kerr W.L., Kong F., Dee D.R., Lin M. Influence of nano-fibrillated cellulose (NFC) on starch digestion and glucose absorption. *Carbohydrate Polymers*, 2018, v. 196, no. 9, pp. 146–153.
- [23] Espinosa S.C., Kuhnt T., Foster E.J., Weder C. Isolation of thermally stable cellulose nanocrystals by phosphoric acid hydrolysis. *Biomacromolecules*, 2013, v. 14, no 4, pp. 1223–1230.
- [24] Revol J.F., Bradford H., Giasson J., Marchessault R.H., Gray D.G. Helicoidal self-ordering of cellulose microfibrils in aqueous suspension. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1992, v. 14, no. 3, pp. 170–172.
- [25] Cherian J., Paulose J., Vysakh P. Harnessing nature's hidden material: Nano-Cellulose. *Materials Today; Proceedings*, 2018, v. 5, no. 5, part 2, pp. 12609–12614.
- [26] Araki J., Wada M., Kuga S., Okano T. Flow properties of microcrystalline cellulose suspension prepared by acid treatment of native cellulose. *Colloids and Surf. A*, 1998, v. 142, no. 1, pp. 75–82.

Authors' information

Semkina Lyudmila Ivanovna — Paper Laboratory in OSC Central Paper Research Institute, cniib@mail.ru

Sarana Ninel' Vasil'evna — Cand. Sci. (Chemic.), Chief Scientific Worker in OSC Central Paper Research Institute, cniib@mail.ru

Lepeshkina Elena Vladimirovna — Scientific Worker in OSC Central Paper Research Institute, cniib@mail.ru

Tovstoshkurov Evgeniy Mikhaylovich — Head Scientific Worker in OSC Central Paper Research Institute, cniib@mail.ru

Goryachev Nikita Leonidovich — Cand. Sci. (Chemic.), Test Center of pulp and paper products in OSC Central Paper Research Institute, cniib@mail.ru

Tyurin Evgeniy Timofeevich — Cand. Sci. (Economic), General Director of OSC Central Paper Research Institute, cniib@mail.ru

Zuykov Aleksandr Aleksandrovich — Cand. Sci. (Tech.), the First Deputy Director of science in OSC Central Paper Research Institute, cniib@mail.ru

Konstantinova Svetlana Alekseevna — Cand. Sci. (Biological), Scientific Worker in the University of Oil and Gas, novikov.a@gubkin.ru

Novikov Andrey Aleksandrovich — Cand. Sci. (Chemic.), Head Scientific Worker in the University of Oil and Gas, novikov.a@gubkin.ru

Received 14.10.2019.

Accepted for publication 19.12.2019.