

П.М. Кейзер, А.А. Быстрова, Е.Г. Смирнова

**ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОФРОПРОИЗВОДСТВА
НА ПРОЧНОСТЬ КАРТОНА
И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОН
ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ**

Введение. В настоящее время в связи с повышенным спросом на таро-упаковочные материалы потребление макулатурных тарных картонов, составляющих более 70% совокупного потребления сырья для изготовления упаковки, приблизилось к отметке 3 млн тонн в год [Волкова, 2020].

При этом предприятия, занимающиеся переработкой макулатуры, сталкиваются с проблемой снижения прочностных характеристик бумаги и картона, полученных из вторичного волокна. Вторичные волокна характеризуются сниженной прочностью волокон, ухудшением способности волокон к набуханию, гидратации и внутреннему фибриллированию; ухудшением фракционного состава, снижением способности к образованию межволоконных водородных связей.

Большим количеством исследований [Кожевников и др., 2016; Vukoje и др., 2018; Gary и др., 2019; Vajrai и др., 2014; Кулешов и др., 2008; Мулина и др., 2015; Комаров и др., 2007] установлено, что требуемые механические свойства бумаги и картона достигаются, если волокно прошло не более 5–7 циклов переработки.

Основной вклад в приобретение вторичными волокнами их характерных свойств вносят процессы, связанные с механическим воздействием (роспуск и размол), прессованием, сушкой, а также термическим воздействием в процессах производства гофрированного картона. В процессе гофропроизводства бумага и картон подвергаются воздействию высоких температур (130–160 °C), что приводит к дополнительному ороговению волокна, стимулирует развитие процессов старения и снижает бумагообразующие свойства волокна.

Исследованиями [Vukoje и др., 2018] показано, что в процессе размола прочностные характеристики вторичного волокна постоянно снижаются при каждом новом цикле переработки.

Прессование также негативно сказывается на способности вторичных волокон образовывать связи между собой, следовательно, отрицательно влияет на прочностные характеристики бумаги и картона [Matula, 2006].

Процессы, связанные с нагревом волокна, оказывают существенное влияние на прочностные характеристики, физико-химические и химические свойства волокон. В процессе сушки в сушильной части картоноделательной машины происходит необратимое закрытие части пор клеточной стенки, то есть «ороговение» [Weise, 1998; Stone и др. 1996; Welf и др., 2005]. Это приводит к снижению набуханию волокна при повторном смачивании. В результате волокна становятся более жесткими, что отрицательно сказывается на дальнейших процессах переработки, таких как разлом, прессование, сушка [Čabalová и др., 2011].

Во время сушки после достижения температуры 100 °C и выше происходит термодеструкция полисахаридов (фрагментация макромолекул). Гемиллюлозы более активно деструктируют, чем целлюлоза по причине аморфного строения и низкой молекулярной массы [Кулешов и др., 2008].

Термодеструкция полисахаридов происходит не только в процессе сушки в сушильной части картоноделательной машины, но и в других технологических процессах:

- горячая термодисперсионная обработка – осуществляется при температуре 130...150 °C в течение 6–8 мин. Проведенные исследования [Кулешов и др., 2008], подтвердили отрицательное влияние данной термообработки на прочностные показатели;
- переработка картона и бумаги для гофрирования в гофрокартон. Температура гофроматериалов при прохождении через гофроагрегат может достигать 160...180 °C [Смолин и др., 2019].

Если учесть, что основную долю в российском рынке гофрированного картона составляют макулатурные картоны, то процессы гофрообразования становятся наиболее значимыми, с точки зрения снижения бумагообразующих свойств.

Цель настоящей работы – исследование влияния термического воздействия на картон в процессе гофропроизводства на прочностные свойства картона и морфологические характеристики волокон в картоне при его цикличном использовании.

Материалы и методика исследования. В качестве объекта исследования была выбрана сульфатная небеленая хвойная целлюлоза производства филиала группы ИЛИМ (г. Коряжма). Образцы картона изготавливали согласно ГОСТ 14363.4–89 «Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям». Масса отливки составляла 125 г/м². При получении образцов из первичного волокна целлюлозу размалывали до

30 ± 2 °ШР, далее при цикличном использовании образцы картона подвергали роспуску в лабораторном ролле Валлей и поддерживали степень помола бумажной массы на уровне 30 ± 2 °ШР. Изготовленные образцы картона подвергали термической обработке на аппарате «Горка» для имитации влияния гофровалов при температуре 160 ± 5 °С в течение 3 мин.

У полученных образцов картона измеряли разрушающее усилие (Р) согласно ГОСТ ИСО 1924-1-96, сопротивление продавливанию (П) согласно ГОСТ Р ИСО 2759-2017, исследовались морфологические свойства волокон в бумаге на анализаторе волокна «MogFi» и на оптическом микроскопе [Махотина и др., 2020].

Результаты исследования. Как известно, при цикличном использовании картона снижаются механические показатели. На рис. 1 и 2 представлена зависимость снижения механических показателей картона в зависимости от цикла переработки при применении термического воздействия, моделирующего воздействие температуры при получении гофрокартона на гофроагрегате и без термического воздействия. Термическое воздействие приводит к более серьезному снижению механических показателей картона, чем без его применения. С применением термической обработки после 2-го цикла переработки резко снижается сопротивление продавливанию (на 40%, с 387 кПа до 231 кПа) и сопротивление разрыву (на 38%, со 102 Н до 63 Н).

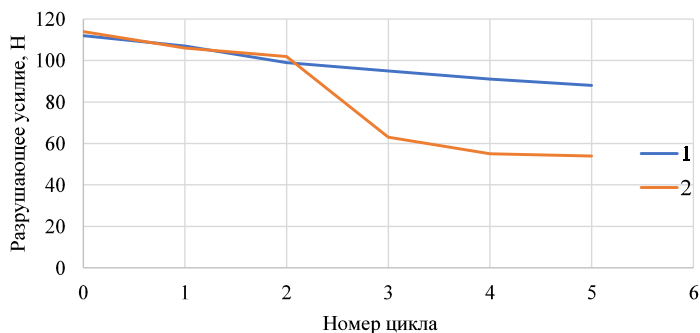


Рис. 1. Влияние термической обработки волокон на разрушающее усилие: 1 – образцы не подвергались воздействию температуры; 2 – образцы подвергались воздействию температуры 160 ± 5 °С в течение 3 мин

Fig. 1. Heat treatment effect of fibers on the breaking force: 1 – the samples were not subjected to temperature; 2 – the samples were subjected to a temperature of 160 ± 5 °С for 3 min.

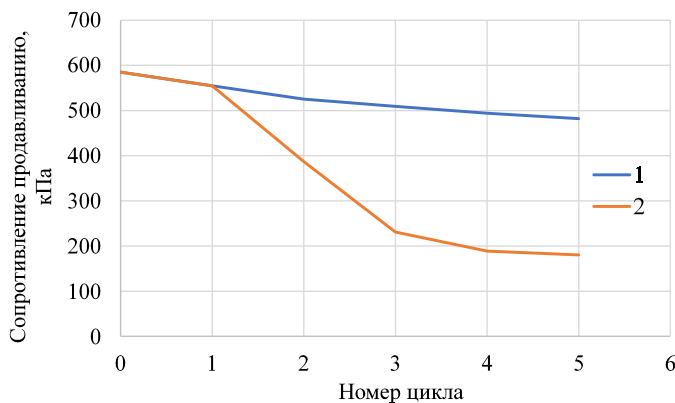


Рис. 2. Влияние термической обработки волокон на сопротивление продавливанию: 1 – образцы не подвергались воздействию температуры; 2 – образцы подвергались воздействию температуры 160 ± 5 °C в течение 3 мин

Fig. 2. Heat treatment effect of fibers on bursting resistance: 1 – the samples were not subjected to temperature; 2 – the samples were subjected to a temperature of 160 ± 5 °C for 3 min.

Снижение прочностных показателей образцов картона связано со снижением степени полимеризации и повышением кристалличности целлюлозного волокна в условиях повышенных температур. Снижаются степень набухания волокон, силы сцепления между ними, поверхность волокон приобретает более гидрофобные свойства.

У образцов, не подвергшихся температурному воздействию, происходит равномерное понижение показателей механической прочности с невысокой скоростью. В целом после 5-го цикла переработки картона у образцов, подвергнутых температурному воздействию, по сравнению с образцами, на которые его не оказывали, сопротивление разрыву ниже в 1,6 раза, сопротивление продавливанию ниже в 2,7 раза.

У образцов картона, подвергнутых термическому воздействию после каждого цикла получения, исследовались морфологические характеристики на анализаторе волокна «MorFi» (табл. 1).

Анализ таблицы показывает следующие тенденции изменений морфологических характеристик волокон в зависимости от цикла использования и воздействия температуры:

- снижается средняя длина волокна;
- ширина волокон незначительно изменяется в пределах погрешности, но на 5 цикле она резко возрастает;

Таблица 1

**Морфологические характеристики волокна в зависимости
от цикла использования**

Morphological characteristics of the fiber depending on the cycle of use

№ цикла	Длина волокна, Лс, мм	Ширина волокна, мкм	Грубость, мг/м	Изогнутость, %	Скручиваемость %	Средняя длина мелочи, мкм	Средняя площадь мелочи, мкм ²	Поврежденные концы, %	Кол-во мелочи, млн объектов/г
0	2,158	28,5	0,1290	33,0	10,4	39	820	40,13	104
1	1,693	30,1	0,1481	22,2	8,4	38,5	830	45,0	132
2	1,624	29,3	0,1380	20,3	7,7	38	790	44,2	150
3	1,615	29,5	0,1289	20,7	7,7	39	835	44,28	128
4	1,595	28,8	0,1142	20,5	7,5	40	853	43,56	138
5	0,997	32,5	0,1697	24,4	8,4	39	886	49,38	134

- повышается грубость волокон;
- увеличивается количество поврежденных концов волокон;
- увеличивается количество мелочи;
- снижается количество изогнутых и скрученных волокон, происходит выравнивание волокон за счет обрыва сегментов волокон по локальным деформациям (складки, сжатие, перегибы, перекручивания и т. п.), что подтверждается увеличением количества мелочи и поврежденных концов волокон, а также снижением числа изгибов волокна;

- угол изгиба волокон остается относительно постоянным;
- площадь мелочи относительно общей площади объектов за 5 циклов возрастает в 2,2 раза.

Обсуждение. На первых четырех циклах переработки происходит, вероятно, разработка поверхности волокон с незначительным снижением длины (1–4%) и невысоким содержанием мелочи. Это подтверждается изменением гибкости волокна (снижение изогнутости, снижение скручиваемости, снижение числа изгибов на волокнах) и грубости волокна, которая уменьшается с 0,1481 до 0,1142 мг/м. На 5-м цикле переработки происходит значительное снижение длины волокна на 37% и повышение грубости, однако это не приводит к критичному снижению механических показателей.

В ходе исследований было обнаружено, что длина мелочи (объекты длиной $<0,2$ мм) оставалась неизменной (рис. 3), а площадь мелочи неуклонно росла (рис. 3).

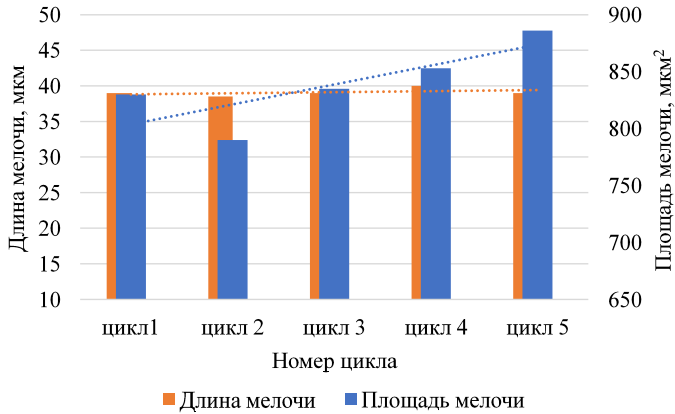


Рис. 3. Зависимость длины и площади мелочи от количества циклов переработки

Fig. 3. The dependence of the length and area of small pieces of cellulose on the number of processing cycles

Рост площади мелочи можно объяснить несколькими процессами: плоскостным сжатием волокон при циклической переработке и воздействии высокой температуры, что подтверждается увеличением ширины как мелочи, так и волокон (табл. 1); агломерацией малых объектов в более крупные, что хорошо видно при микроскопическом исследовании (рис. 4,б).

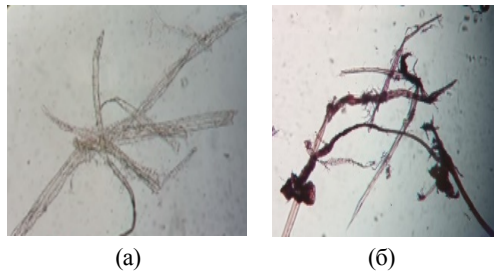


Рис. 4. Фотографии волокон в картоне: (а) первичное волокно; (б) после пятого цикла переработки

Fig. 4. Photographs of fibers in cardboard: (a) primary fiber; (b) after the fifth processing cycle

Заключение. Показано, что процессы гофрообразования становятся наиболее значимыми с точки зрения снижения бумагообразующих свойств. Воздействие высоких температур на бумагу/картон в процессах гофропроизводства приводит к более значительному снижению механических свойств картона при циклической переработке, чем при переработке других видов картона, не подвергавшихся воздействию высоких температур. Так, после 5 циклов переработки у образцов картона, подвергнутых температурному воздействию, сопротивление разрыву ниже в 1,6 раза, сопротивление продавливанию ниже в 2,7 раза по сравнению с образцами, на которые его не оказывали.

Морфологические характеристики целлюлозных волокон в зависимости от цикла использования и воздействия температуры значительно изменяются. Длина волокна уменьшается, при этом волокна расплющиваются, становятся более широкими и грубыми. Количество и площадь мелочи с каждым циклом переработки растет, мелочь объединяется в более крупные объекты. Вместе с тем волокна становятся менее деформированными, происходит их выравнивание.

Производителям макулатурных картонов для гофропроизводства целесообразно включать в сырьевую базу макулатуру, которая обладает высоким потенциалом вторичной переработки, а именно марки МС-3А и МС-4А.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Борисов А.Н., Иванов В.В., Петренко А.Е. Оценка реакции сосновых древостоев Красноярской лесостепи на рубках ухода // Лесоведение. 2014. № 4. С. 22–27.

Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Коновалова Г.Н. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2010. 182 с.

Волкова А.В. Рынок тарного картона // Национальный исследовательский университет. Высшая школа экономики, 2020. URL: https://www.hse.ru/data/2021/02/23/1393504243/Рынок_тарного_картона-2020.pdf

Данчева А.В., Гурская М.А., Залесов С.В., Муканов Б.М. Оценка эффективности рубок ухода в сосняках Казахского мелкосопочника на основе лесоводственного и древесно-кольцевого анализа // Лесоведение. 2020. № 6. С. 503–514.

Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Динамика лесного фонда лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева за 150 лет // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2018. № 4. С. 5–19.

Кожевников С.Ю., Ковернинский И.Н., Канарский А.В. Влияние циклов переработки макулатуры на длину волокон и качество бумаги и картона // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 5. С. 81–85.

Комаров В.И., Южанинова Л.А., Дулькин Д.А., Спиридонов В.А. Особенности технологии бумаги-основы для гофрирования из макулатуры и требования к ее потребительским свойствам: монография / Архангельский гос. технический ун-т. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 102 с.

Кулешов А.В., Смолин А.С. Бумагообразующие свойства вторичных растительных волокон // Химия растительного сырья. 2008. № 2. С. 109–112.

Кулешов А.В., Смолин А.С. Влияние цикличности использования макулатурного волокна на бумагообразующие свойства // Лесной журнал. 2008. № 4, С. 132–140.

Махотина Л.Г., Бабкина Л.Ю., Хоробрых С.В., Новожилов В.В. Химия древесины и целлюлозы. Микроскопическое исследование древесины и целлюлозных волокон: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2020. 50 с.

Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Нигматуллина Л.И., Иикуватова А.Р. Влияние процесса вторичной переработки макулатуры на бумагообразующие свойства целлюлозного сырья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 4. С. 32–34.

Смолин А.С., Дубовый В.К. и др. Технология гофрокартона: учеб. пособие. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. 412 с.

Bajpai P. Recycling and Deinking of Recovered Paper // Elsevier. 2014. 240 p.

Čabalová I., Kačík F., Geffert A., Kačíková D. The Effects of Paper Recycling and its Environmental Impact // Environmental Management in Practice. 2011. Vol. 17. P. 329–350.

Gary M.Scott. Recovered Paper // Waste – A Handbook for Management. 2019. No. 2. P. 291–305.

Matula J. New efficient mixing system of papermaking additives cuts fresh water consumption // Papermakers Conf. 2006.

Stone J., Scallan A. Influence of drying on the pore structures of the cell wall // Consolidation of the Paper Web. 1996. Vol. 1. P. 145–174.

Vukoje M., Rožić M. Various valorisation routes of paper intended for recycling // Cellulose Chemistry and Technology. 2018. No. 52 (7-8). P. 515–541.

Weise U. Hornification: mechanisms and terminology // Paperi ja puu. 1998. Vol. 80, no. 2. P. 110–115.

Welf E.S., Venditti R.A. The effects of heating without water removal and drying on the swelling as measured by water retention value and degradation as measured by // Prog. Paper Recycling. 2005. Vol. 14, no. 3. P. 1–9.

References

- Bajpai P., Recycling and Deinking of Recovered Paper. Elsevier, 2014. 240 p.
- Borisov A.N., Ivanov V.V., Petrenko A.E. The estimation of pine stand's response to thinning in Krasnoyarsk forest-steppe. *Forest Science*, 2014, no. 4, pp. 22–27. (In Russ.)

Čabalová I., Kačík F., Geffert A., Kačíková D. The Effects of Paper Recycling and its Environmental Impact. *Environmental Management in Practice*, 2011, vol. 17, pp. 329–350.

Dancheva A.V., Gurskaya M.A., Zalesov S.V., Mukanov B.M. Assessment of cleaning cuttings efficiency in pine forests of Kazakhstan hillocks based on forestry and annual rings analyses. *Forest Science*. 2020, no. 6, pp. 503–514. (In Russ.)

Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Forest area dynamics of the Forest experimental district of Russian Timiryazev State Agrarian University over a period of 150 years. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2018, no. 4, pp. 5–19. (In Russ.)

Gary M. Scott., Recovered Paper. *Waste – A Handbook for Management*, 2019, no. 2, pp. 291–305.

Komarov V. I., Yuzhaninova L. A., Dulkan D. A., Spiridonov V. A. Features of paper technology-the basis for corrugation from waste paper and requirements for its consumer properties: monograph / Federal Agency for Education, Arkhangelsk State Technical University. Arkhangelsk: Publishing House of AGTU, 2007. 102 p. (In Russ.)

Kozhevnikov S.Yu., Koverninsky I.N., Kanarsky A.V. Influence of waste paper recycling cycles on fiber length and quality of paper and cardboard. *Bulletin of the Technological University*, 2016, vol. 19, no. 5, pp. 81–85. (In Russ.)

Kuleshov A.V., Smolin A. S. Paper-forming properties of secondary plant fibers. *Chemistry of plant raw materials*, 2008, no. 2, pp. 109–112. (In Russ.)

Kuleshov A.V., Smolin A.S. Influence of cyclical use of waste paper fiber on paper-forming properties. *Forest Journal*, 2008, no. 4, pp. 132–140. (In Russ.)

Makhotina L.G., Babkina L.Yu., Khorobrykh S.V., Novozhilov V.V. Chemistry of wood and cellulose. Microscopic examination of wood and cellulose fibers / HSE SPbGUPTD. St. Petersburg, 2020. 50 p. (In Russ.)

Matula J. New efficient mixing system of papermaking additives cuts fresh water consumption. *Papermakers Conf.*, 2006.

Mullina E.R., Mishurina O.A., Nigmatullina L.I., Ishkuvatova A.R. The influence of the recycling process of waste paper on the paper-forming properties of cellulose raw materials. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2015, no. 4, pp. 32–34. (In Russ.)

Smolin A.S., Dubovy V.K. et al. Technology of corrugated cardboard [Text]: textbook. manual. St. Petersburg: Publishing and Printing Association of Higher Educational Institutions, 2019. 412 p. (In Russ.)

Stone J., Scallan A. Influence of drying on the pore structures of the cell wall. *Consolidation of the Paper Web.*, 1996, vol. 1, pp. 145–174.

Vanchakov M.V., Kuleshov A.V., Konovalova G. N. Technology and equipment for recycling waste paper. St. Petersburg: Publishing House of SPbGPU, 2010. 182 p. (In Russ.)

Volkova A.V. The market of packaging cardboard. *National Research University. Higher School of Economics*, 2020. URL: https://www.hse.ru/data/2021/02/23/1393504243/Рынок_тарного_картона-2020.pdf (In Russ.)

Vukoje M., Rožić M. Various valorisation routes of paper intended for recycling. *Cellulose Chemistry and Technology*, 2018, no. 52(7-8), pp. 515–541.

Weise U. Hornification: mechanisms and terminology. *Paperi ja puu*, 1998, vol. 80, no. 2, pp. 110–115.

Welf E.S., Venditti R.A. The effects of heating without water removal and drying on the swelling as measured by water retention value and degradation as measured by. *Prog. Paper Recycling*, 2005, vol. 14, pp. 1–9.

Материал поступил в редакцию 10.10.2022

Кейзер П.М., Быстрова А.А., Смирнова Е.Г. Влияние процессов гофропроизводства на прочность картона и морфологические характеристики волокон при циклическом использовании // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 241. С. 268–279. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.241.268-279

При производстве гофрокартона бумага для гофрирования и картон для плоского слоя подвергаются воздействию высоких температур. В работе исследовано влияние высокой температуры на прочностные свойства картона и морфологические характеристики волокон в картоне при его циклическом использовании в процессе гофропроизводства. Установлено, что воздействие температуры на картон в процессе гофропроизводства значительно снижает механические свойства картона при его циклической переработке. Так, после пятого цикла переработки картона, подвергнутого воздействию температуры 160 ± 5 °C в течение 3 мин, сопротивление разрыву ниже в 1,6 раза, сопротивление продавливанию ниже в 2,7 раза по сравнению с образцами картона, которые не подвергались термическому воздействию. На первых четырех циклах переработки происходит, вероятно, разрушение поверхности волокон с незначительным снижением длины (1–4%) и невысоким содержанием мелочи. На 5-м цикле переработки происходит значительное снижение длины волокна на 37%, повышение грубости, но это не приводит к критичному снижению прочности картона. В ходе исследований было обнаружено, что длина мелочи (объекты длиной $< 0,2$ мм) при циклическом использовании оставалась неизменной, а площадь мелочи неуклонно росла. Морфологические характеристики целлюлозных волокон в зависимости от цикла использования и воздействия температуры значительно изменялись. Длина волокна уменьшалась, при этом волокна расплющивались, становились более широкими и грубыми. Количество и площадь мелочи с каждым циклом переработки росли, мелочь объединялась в более крупные объекты. Вместе с тем волокна становились менее деформированными, происходило их выравнивание.

Ключевые слова: вторичное волокно, бумагообразующие свойства, термическое воздействие, морфологические характеристики.

Keizer P.M., Bystrova A.A., Smirnova E.G. Influence of corrugate production processes on strength of cardboard and morphological characteristics of fibers under cyclic use. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2022, iss. 241, pp. 268–279 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.241.268-279

In the production of corrugated cardboard, corrugated paper and flat layer board are exposed to high temperatures. In this work, the influence of high temperature on the strength properties of cardboard and the morphological characteristics of fibers in cardboard during its cyclic use in the corrugation production process were researched. It has been established that the effect of temperature on cardboard during the corrugated production process significantly reduces the mechanical properties of cardboard during its cyclic processing. So, after the fifth cycle of cardboard processing, exposed to a temperature of $160 \pm 5^\circ\text{C}$ for 3 minutes, the tear resistance is 1.6 times lower, the bursting resistance is 2.7 times lower compared to cardboard samples that were not subjected to thermal treatment. In the first four cycles of processing, the destruction of the surface of the fibers probably occurs with a slight decrease in length (1–4%) and a low content of small pieces of cellulose. At the 5th cycle of processing, there is a significant reduction in the length of the fiber by 37%, an increase in coarseness, but it doesn't lead to a critical decrease in the strength of the cardboard. In the course of the research, it was found that the length of small pieces of cellulose (objects <0.2 mm long) remained unchanged during cyclic use, and the area of the fines steadily increased. The morphological characteristics of cellulose fibers, depending on the cycle of use and temperature effect, changed significantly. The length of the fiber decreased, while the fibers flattened out, became wider and coarser. The number and area of small things increased with each processing cycle, the small things were combined into larger objects. At the same time, the fibers became less deformed, and their alignment took place.

Keywords: recycled fiber, paper-forming properties, thermal effect, morphological characteristics.

КЕЙЗЕР Павел Матвеевич – доцент кафедры технологии бумаги и картона Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук. SPIN-код: 4864-8012. ORCID: 0000-0002-2008-311X.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: kpm022@yandex.ru

KEIZER Pavel M. – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Paper and Cardboard Technology of the Higher School of Technology and Energy of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 4864-8012. ORCID: 0000-0002-2008-311X.

198095, Ivan Chernykh str. 4, St. Petersburg, Russia. E-mail: kpm022@yandex.ru

БЫСТРОВА Алена Андреевна – заместитель директора института «КРОНА», аспирант кафедры технологии бумаги и картона Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: krona@gturp.spb.ru

BYSTROVA Alena A. – Deputy Director of the KRONA Institute, postgraduate student of the Department of Paper and Cardboard Technology of the Higher School of Technology and Energy of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.

198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg, Russia. E-mail: krona@gturp.spb.ru

СМИРНОВА Екатерина Григорьевна – заведующий кафедрой технологии бумаги и картона Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, доцент, доктор технических наук. ORCID 0000-0002-8482-0684

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: smirnovalta@gmail.com

SMIRNOVA Ekaterina G. – DSc (Technical), Head of the Department of Paper and Cardboard Technology of the Higher School of Technology and Energy of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Associate Professor. ORCID: 0000-0002-8482-0684.

198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg, Russia. E-mail: smirnovalta@gmail.com