

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

**ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОФРОПРОИЗВОДСТВА
НА ПРОЧНОСТЬ КАРТОНА
ИЗ НЕЙТРАЛЬНО-СУЛЬФИТНОЙ ПОЛУЦЕЛЛЮЛОЗЫ
ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ**

Введение. Применение древесины лиственных пород и высокий выход делают нейтрально-сульфитную полуцеллюлозу (НСПЦ) экономически выгодным полуфабрикатом для производства картонов для гофропроизводства.

Гофрокартон, вырабатываемый из первичных волокнистых полуфабрикатов, как правило, содержит в своем составе 50–55% сульфатной небеленой хвойной целлюлозы с выходом 55–56% и содержанием лигнина 9–11% и из 45–50% нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы с выходом 75–80% и содержанием лигнина 18–20% [Смолин, 2019]. Такое же соотношение сохраняется и в гофрокартоне из вторичных волокон.

Процессы гофропроизводства связаны с нагревом картона, что оказывает существенное влияние на прочностные характеристики, физико-химические и химические свойства волокон. Высокое содержание лигнина в НСПЦ играет положительную роль, так как прослеживается достаточно тесная связь между жесткостью волокон, жесткостью картона-лайнера и жесткостью гофрокартона и гофротары. Это во многом определяется наличием лигнина в материалах и связано с релаксационными переходами лигнина из стеклообразного в высокоэластическое состояние в процессах гофропроизводства [Смолин, 2019].

В дальнейших исследованиях [Кейзер и др., 2022]. было изучено воздействие высоких температур на картон из сульфатной небеленой хвойной целлюлозы в процессах гофропроизводства. Установлено, что нагрев картона до высоких температур приводит к более значительному снижению механических свойств картона при циклической переработке.

Цель данной работы – исследование влияния процессов гофропроизводства на прочностные свойства картона из НСПЦ при его циклическом использовании.

Материалы и методика исследования. В качестве объекта исследования была выбрана нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза (НСПЦ) производства филиала группы ИЛИМ (г. Коряжма). Образцы картона изготавли-

вали 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 полуцеллюлозу размалывали до 32±2 °ШР, далее при цикличном использовании образцы картона подвергали роспуску в лабораторном ролле Валлей и поддерживали степень помола бумажной массы на уровне 32±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 по ГОСТ ИСО 1924-1–96, разрушающее усилие при сжатии кольца по методу RCT (*ring crush test*) согласно ГОСТ ИСО 10711, сопротивление сжатию на коротком расстоянии (кН/м) по методу SCT (*short span compression test*) согласно ИСО 9895. Морфологические свойства волокон оценивались с помощью анализатора волокна Morfi Compact, разработанного исследовательским центром бумаги Франции (СТР) и Французским институтом бумажной и печатной промышленности (EFPG).

Результаты исследования. На рис. 1–3 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 существенному снижению разрушающего усилия картона, нежели без его применения. С применением термической обработки к 6-му циклу переработки разрушающее усилие снижается на 43%, с 103 Н до 59 Н, а без применения температуры на 26%, с 102 Н до 75 Н (рис.1).

Из специальных показателей картона для плоского слоя гофрокартона разрушающее усилие при сжатии кольца (RCT) и сопротивление сжатию на коротком расстоянии (SCT) наиболее чувствительным к воздействию на картон температуры оказалось разрушающее усилие при сжатии кольца (рис. 2, 3).

С применением термической обработки после 6-го цикла переработки разрушающее усилие при сжатии кольца (RCT) снизилось на 34% (с 260 Н до 164 Н), при воздействии на картон температуры, и на 19% (с 246 Н до 200 Н) без воздействия температуры.

На рис. 4 представлена сравнительная зависимость снижения механических показателей картона, изготовленного из разных видов целлюлозы (сульфатной небеленой хвойной целлюлозы и НСПЦ) в зависимости от цикла переработки при применении термического воздействия и без термического воздействия.

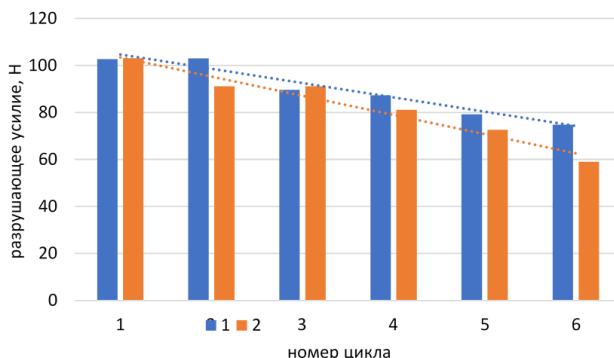


Рис. 1. Влияние термической обработки картона из НСПЦ при циклической переработке на разрушающее усилие: 1 – образцы не подвергались воздействию температуры; 2 – образцы подвергались воздействию температуры 160 ± 5 °C в течение 3 мин

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

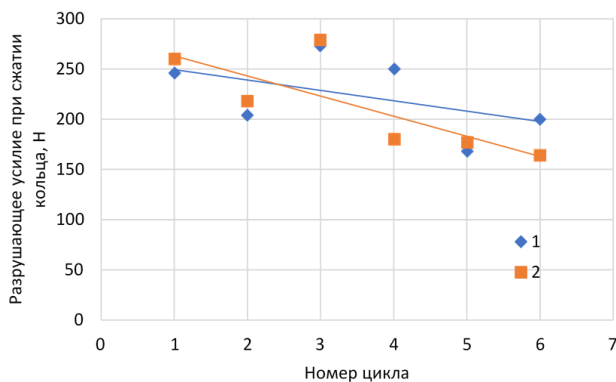


Рис. 2. Влияние термической обработки картона из НСПЦ при циклической переработке на разрушающее усилие при сжатии кольца (RCT): 1 – образцы не подвергались воздействию температуры; 2 – образцы подвергались воздействию температуры 160 ± 5 °C в течение 3 мин

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

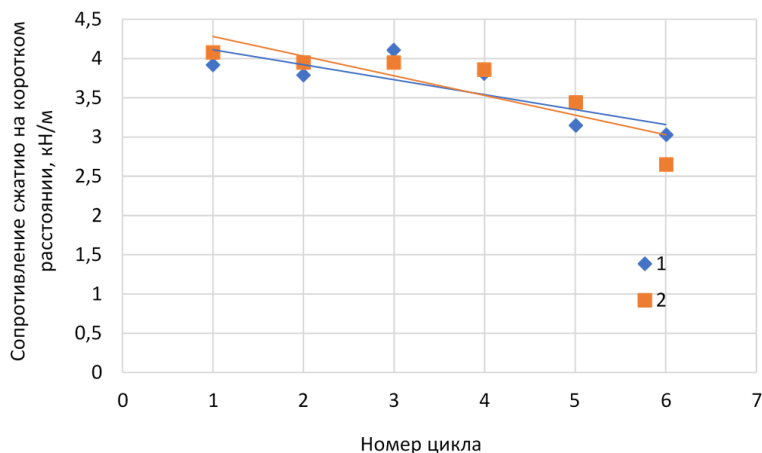


Рис. 3. Влияние термической обработки картона из НСПЦ при циклической переработке на сопротивление сжатию на коротком расстоянии (SCT): 1 – образцы не подвергались воздействию температуры; 2 – образцы подвергались воздействию температуры 160 ± 5 °C в течение 3 мин

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

Термическое воздействие на картон из сульфатной небеленой хвойной целлюлозы приводит к более серьезному снижению разрушающего усилия при циклическом использовании, чем на картон из НСПЦ. Так разрушающее усилие картона из сульфатной небеленой целлюлозы после 5-го цикла переработки снижается на 49% (с 106 Н до 54 Н), а картона из НСПЦ на 29% (с 103 Н до 73 Н).

У образцов картона после каждого цикла получения исследовались морфологические характеристики на анализаторе волокна «MorFi» (рис. 5 а, б). Исследования показали, что фракция волокна 0,8–1,2 мм является основной в массе волокна (43,3%). С увеличением циклов переработки с первого по шестой эта фракция снижается незначительно (на 4%, с 43,3 до 39,3%), оставаясь доминирующей (рис.5, а). Термическое воздействие на картон приводит к тому, что с 3-го цикла переработки доминирующей становится фракция с более короткими волокнами 0,4–0,8 мм, ее увеличение составило 13% (с 28 до 41%), взамен фракции с волокнами 0,8–1,2 мм, снижение которой составило 7,6% (с 41,8 до 34,2%) (рис. 5, б).

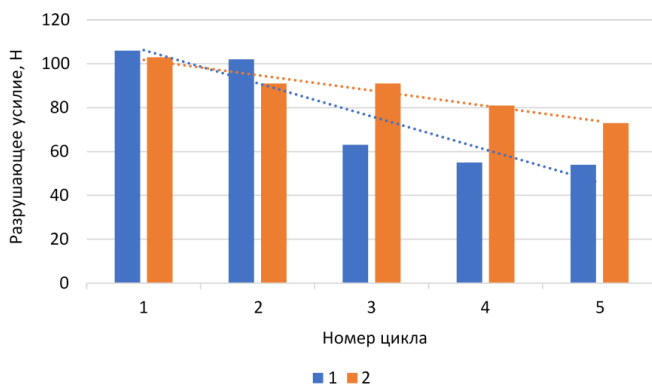


Рис. 4. Влияние термической обработки картона при температуре 160 ± 5 °C в течение 3 мин по циклам переработки на разрушающее усилие: 1 – образцы из сульфатной небеленой хвойной целлюлозы [Кейзер и др., 2022]; 2 – образцы из НСПЦ

Fig. 4. Heat treatment effect of fibers at 160 ± 5 °C for 3 min on tensile strength depending on the number of processing cycles: 1 – samples of unbleached sulfate softwood pulp; 2 – samples of neutral sulfite semichemical

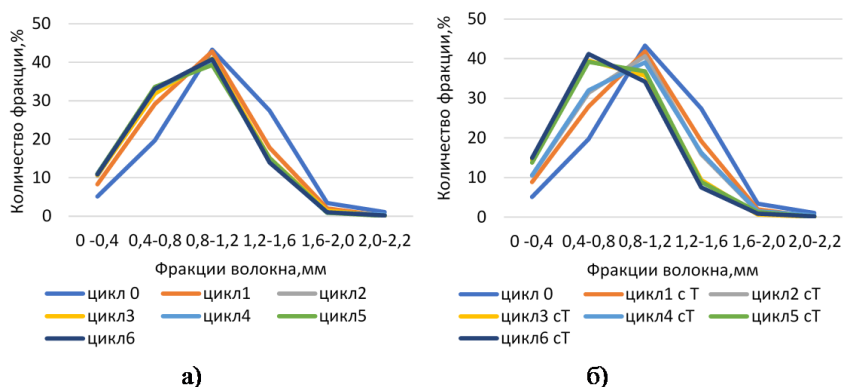


Рис. 5. Распределение фракций по длине волокна НСПЦ: а) в зависимости от циклов переработки; б) в зависимости от циклов переработки и воздействия температуры 160 ± 5 °C в течение 3 мин

Fig. 5. Fractions distribution of neutral sulfite semichemical: а) depending on processing cycles; б) depending on processing cycles and exposure to a temperature of 160 ± 5 °C for 3 min

Обсуждение. После 6-го цикла переработки картона из НСПЦ, подвергнутого температурному воздействию, по сравнению с образцами, на которые его не оказывали, разрушающее усилие ниже в 1,3 раза, разрушающее усилие при сжатии кольца (RCT) ниже в 1,2 раза, сопротивление сжатию на коротком расстоянии (SCT) практически не зависит от воздействия температуры.

Снижение прочностных показателей образцов картона, вероятно, 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.

Термическое воздействие на картон из сульфатной небеленой хвойной целлюлозы приводит к более серьезному снижению разрушающего усилия, чем на картон из НСПЦ. Это связано вероятно с тем, что у целлюлозы при нагревании происходит деструкция, а картон из НСПЦ пластифицируется с выраженным увеличением удлинения при разрыве. Такое воздействие можно отнести за счет пластификации лигнина.

Лигнин классифицируется как термопластичный полимер, т. е. при нагревании он размягчается и переходит из стеклообразного релаксационного состояния в высокоэластическое, а иногда в вязкотекучее. Термопластичность лигнинов имеет значение при переработке лигноуглеводных материалов. При достаточно высокой температуре, характерной для гофрообразования, не исключен переход гемицеллюлозных фракций и низкомолекулярных фракций лигнина в вязкотекучее состояние. Таким образом, возможно образование так называемого «лигнинового геля», который способствует повышенной пластификации и, предположительно, упрочнению внутренней структуры материала.

Заключение. Показано, что в результате шести циклов переработки с применением высоких температур, имитирующих процессы гофрообразования у картона из НСПЦ в меньшей степени снижаются прочностные показатели, чем у картона из сульфатной небеленой хвойной целлюлозы. Картон из НСПЦ по сравнению с картоном из сульфатной небеленой хвойной целлюлозы при температуре 160° сохраняет повышенную прочность на разрыв и поэтому лучше противостоит напряжениям при гофрировании. Термическое воздействие на картон приводит к тому, что с 3-го цикла переработки доминирующей становится фракция с более короткими волокнами 0,4–0,8 мм, ее увеличение составило 13%, взамен фракции с волокнами 0,8–1,2 мм, снижение которой составило 7,6%.

Лигноуглеводный комплекс НСПЦ препятствует интенсивному термическому разложению целлюлозы. Поэтому термопластические свойства лигнина можно использовать без опасности сильной деструкции целлюлозных волокон и снижения прочностных показателей картона, что приведет к увеличению количества циклов переработки картона.

Таким образом, НСПЦ обладает более высоким потенциалом для вторичной переработки, чем сульфатная небеленая хвойная целлюлоза нормального выхода.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Смолин А.С. Современные тенденции развития технологии гофрокартона / Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: матер. V Междунар. науч.-технич. конференции, посвящ. памяти профессора В.И. Комарова, Архангельск, 11–14 сентября 2019 года. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2019. С. 39–46. ISBN 978-5-6042336-6-5. EDN HEJVBX.

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.

References

Smolin A.S. Modern trends in the development of corrugated cardboard technology. *Problems of mechanics of cellulose and paper materials*: Proceedings of the V International Scientific and Technical Conference in memory of Professor V.I. Komarov, Arkhangelsk, September 11–14, 2019. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2019, pp. 39–46. ISBN 978-5-6042336-6-5. EDN HEJVBX. (In Russ.)

Keizer P.M., Byistrova A.A., Smirnova E.G. Influence of corrugated production processes on the strength of cardboard and morphological characteristics of fibers under cyclic use. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2022, iss. 241, pp. 268–279. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 19.07.2023

Кейзер П.М., Симонова Е.И., Быстрова А.А., Смирнова Е.Г. Влияние процессов гофропроизводства на прочность картона из нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы при циклическом использовании // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 248. С. 329–338. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.329-338

Широко используемым полуфабрикатом для получения бумаги для гофрирования и картона для плоского слоя гофрокартона является нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза, получаемая из древесины лиственных пород. В работе исследовано влияние высокой температуры на прочностные свойства картона из нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы и морфологические характеристики волокон в картоне при его циклическом использовании в процессе гофропроизводства. Показано, что в результате термического воздействия на картон с 3-го цикла переработки доминирующей становится фракция с более короткими волокнами 0,4–0,8 мм (ее увеличение составило 13%), взамен фракции с волокнами 0,8–1,2 мм (снижение которой составило 7,6%). Установлено, что в результате шести циклов переработки с применением высоких температур, имитирующих процессы гофрообразования у картона из НСПЦ в меньшей степени снижаются прочностные показатели, чем у картона из сульфатной небеленой хвойной целлюлозы. Это позволяет предположить, что лигноуглеводный комплекс нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы препятствует интенсивному термическому разложению целлюлозы. Поэтому термопластические свойства лигнина можно использовать без опасности сильной деструкции целлюлозных волокон и снижения прочностных показателей картона, что приведет к увеличению количества циклов переработки картона. В целом нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза обладает более высоким потенциалом для вторичной переработки в гофропроизводстве, чем сульфатная небеленая хвойная целлюлоза нормального выхода.

Ключевые слова: вторичное волокно, сопротивление разрыву, термическое воздействие, нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза, длина волокна.

Keizer P.M., Simonova E.I., Bystrova A.A., Smirnova E.G. Influence of corrugated production processes on the strength of cardboard from neutral sulfite semichemical during its cyclic use. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, iss. 248, pp. 329–338 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.329-338

A widely used first stuff for fluting and linerboard is neutral-sulfite semichemical obtained from hardwood. The paper studies the effect of high temperature on the strength properties of neutral sulfite semichemical board, and the morphological characteristics of the fibers in the board during its multicycle use in the process of corrugated production. It is shown that as a result of thermal influence on cardboard after 3 cycles of processing the fraction with shorter fibers (0,4–0,8 mm) becomes dominant, its increase was 13%, instead of fraction with fibers 0,8–1,2 mm, decrease of which was 7,6%. It was found that as a result of six cycles of processing at high temperatures simulating the corrugation process, the strength properties of paperboard made of neutral-sulfite semichemical decreased to a lesser extent than those of paperboard made of unbleached softwood sulfate pulp. This suggests that the lignin-

carbohydrate complex of neutral sulfite semi-cellulose prevents intensive thermal destruction of cellulose. Therefore, the thermoplastic properties of lignin can be used without the danger of severe degradation of cellulose fibers and reduction of strength properties of cardboard, which will increase the number of cardboard processing cycles. In general, neutral sulfite semichemical pulp has a higher potential for recycling in corrugated production than unbleached sulfate softwood pulp of normal yield.

Keywords: recycled fibers, tensile strength, thermal effect, neutral sulfite semichemical, fiber length.

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

СИМОНОВА Елена Игоревна – доцент кафедры технологии бумаги и картона Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук. SPIN-код: 2037-4410. ORCID: 0000-0002-3657-030X.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: bliznyakova1989@mail.ru

SIMONOVA Elena I. – 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, Candidate of Technical Sciences. SPIN code: 2037-4410. ORCID: 0000-0002-3657-030X.

198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: bliznyakova1989@mail.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