

УДК 66.023.2

СУХОЙ СПОСОБ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ВОЛОКОН ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА КАРТОНА

© *Н.П. Мидуков, Д.С. Ефремов*, В.С. Куров, А.С. Смолин*

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, 198095 (Россия), e-mail: naturforscher@outlook.com

Статья содержит материалы, касающиеся подготовки макулатурных волокон сухим способом. Цель данного метода обработки волокон заключается в снижении водных и энергетических затрат при получении картона с физико-механическими характеристиками, не уступающими полученным традиционным способом. В качестве оборудования для сухого измельчения волокон использовались диспергаторы, узлы которых были изготовлены с помощью 3D-принтера. После диспергирования волокон сухим способом производится их очистка. Полученный мелкодисперсный очищенный материал используется при производстве трехслойного тест-лайнера. В соответствии со стандартными методиками были определены такие механические параметры многослойного картона, как разрывная длина и сопротивление продавливанию. Полученные результаты могут быть использованы при производстве многослойного тест-лайнера с целью снижения энергетических затрат и расходов воды. В результате проделанной исследовательской работы оказалось, что при использовании метода предварительного сухого диспергирования волокон появляется возможность снизить металлоемкость, расход энергии и воды. Ранее испытания сухого диспергирования волокон с дальнейшим размолотом в водной среде не проводились и данные, представленные в статье, позволяют оценить ценность внедрения данного метода в промышленность. Сухой способ диспергирования, который был проведен и изучен в лабораторных условиях, на сегодняшний день не применяется в индустрии производства бумаги и картона России, несмотря на свои преимущества. В будущем планируется провести повторные исследования с целью возможного внедрения данного метода в промышленность.

Ключевые слова: сухое диспергирование, макулатура, картон, тест-лайнер.

Результаты научной работы представленные в статье выполнены в рамках государственного задания №10.6052.2017/Б4

Введение

Сухой способ получения волокон обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционным, а именно снижение расхода воды, энергии, необходимой на транспортировку, очистку волокнистой массы, а также снижение металлоемкости оборудования. Стоимость аппаратов будет снижена, так как некоторые металлические узлы оборудования могут быть заменены пластиковыми, изготовленными с помощью 3D-печати. Основным недостатком сухого способа диспергирования является снижение физико-механических свойств волокнистого материала [1, 2]. Сухой способ получения волокон не обеспечивает требуемых показателей прочности, что ограничивает использование данного метода при производстве картона.

Мидуков Николай Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химической технологии, тел.: +78127465347, e-mail: mnp83@mail.ru

Ефремов Данил Сергеевич – студент, e-mail: naturforscher@outlook.com

Куров Виктор Сергеевич – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, тел.: +78127865766, e-mail: VSKurov@inbox.ru

Смолин Александр Семёнович – заведующий кафедрой технологии бумаги и картона, доктор технических наук, профессор, тел.: +78127868625, e-mail: smolin@gturp.spb.ru

В настоящее время во многих странах Европы реализуются проекты по внедрению сухого способа диспергирования макулатуры с последующим аэродинамическим формованием с целью получения видов бумажной и картонной продукции (фильтровальной бумаги, некоторых видов санитарно-гигиенической бумаги, специализированного картона). Проекты, касающиеся сухого и аэродинамического формования бумаги и карто-

* Автор, с которым следует вести переписку.

на, финансируются европейскими фондами, потому что соответствуют актуальному направлению энерго-сберегающих технологий, позволяющих снизить уровень CO_2 в атмосфере [3, 4]. На рисунке 1 представлено сравнение затрат энергии и воды при традиционном мокром способе и при сухом диспергировании волокнистого сырья.

Если при производстве 1 т тест-лайнера методом мокрого формования затраты энергии составляют 600–800 кВт·ч, а затраты воды составляют 15–20 м³, то при использовании аэродинамического метода эти параметры значительно уменьшаются [5, 6].

При рассмотрении традиционного формования производительностью 14 т/ч и производства картона аэродинамическим способом с той же производительностью были получены данные, представленные на рисунке 1. Расход энергии и воды при формовании традиционном и аэродинамическом значительно отличаются. На графике видно, что расход воды и энергии при аэродинамическом формовании сокращается приблизительно в 1.5 раза, следовательно, снижаются затраты при данном методе производства картона.

До настоящего времени способ аэродинамического формования с сухим диспергированием не нашел применения в технологии производства картона высокого качества. С ростом цен на энергию, воду и сортирование становится экономически целесообразно использовать данную технологию. Однако при этом требуется решить задачу повышения прочности картона.

Основной проблемой при использовании сухих волокон для производства многослойного тест-лайнера является недостаточная прочность картона. Способы решения данной проблемы следующие.

1. Введение волокон, полученных сухим способом, между двумя слоями, сформированными традиционным способом. Данное решение оправдано тем, что за прочность картона в большей степени отвечают крайние слои. Однако, необходимо решение проблемы снижения межслоевой прочности. Исследования, проведенные ранее [7], позволили определить экономическую целесообразность введения волокон более низкого качества в средний слой многослойного картона. На рисунке 2 представлены диаграммы, основанные на данных, полученных в лаборатории технологии бумаги и картона ВНИИ ЦБП (Всесоюзный научно-исследовательский институт целлюлозно-бумажной промышленности).

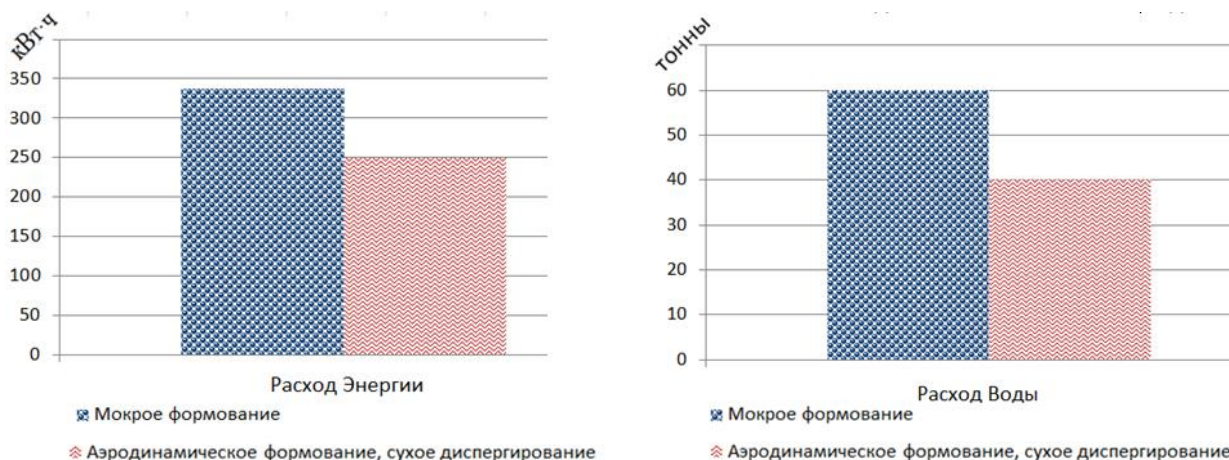


Рис. 1. Снижение энергетических затрат и расхода воды

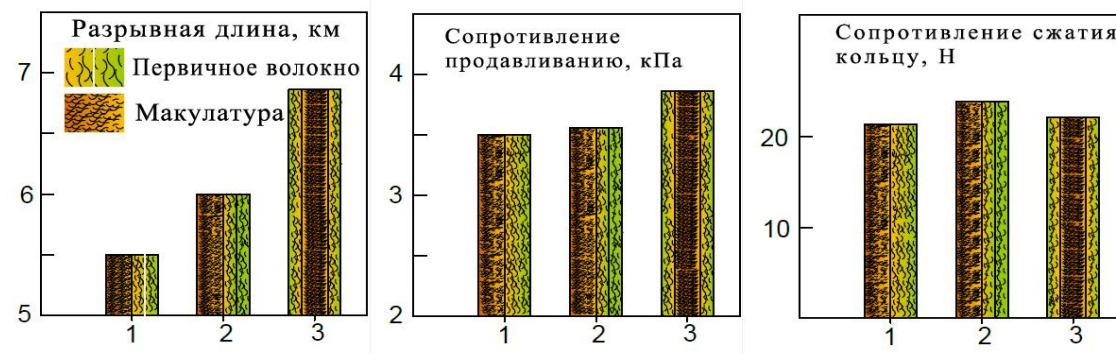


Рис. 2. Влияние расположения различных слоев на свойства картона

Из графиков следует, что при равной массе квадратного метра бумаги оптимальное расположение коротких волокон в центре образцов значительно повышает разрывную длину и сопротивление продавливанию.

2. Подача сухих волокон не на формующую часть картоноделательной машины, а в зону массоподготовки традиционного способа получения картона. В данном случае качество картона будет значительно улучшено, но эффект экономии энергии от внедрения аэродинамического способа формования будет несколько ниже.

3. Размол волокон, полученных сухим способом в водной среде при минимальных нагрузках на мельнице. Этот способ практически заменяет несколько стадий традиционной массоподготовки, а именно роспуск, дороспуск и частично размол.

Снижение прочности бумаги, содержащей волокна, диспергированные в сухом состоянии, связано с аморфизацией целлюлозы, подвергнутой сухому размолу. Целлюлоза в сухом виде находится стеклообразном состоянии [8]. Сухой размол целлюлозы приводит к снижению кристалличности целлюлозы. Поскольку прочность целлюлозных волокон в высокой степени зависит от их кристаллической структуры. Аморфизация целлюлозы значительно снижает прочность волокон бумаги на их основе.

При обработке аморфизированной целлюлозы водой она переходит в высокоэластическое состояние, быстро рекристаллизуется и по степени упорядоченности приближается к исходной целлюлозе [9]. Дальнейший размол волокон в водной среде приводит к повышению прочности материала.

Размол макулатурной массы проводится с целью улучшения механических параметров. Это происходит благодаря повышению площади контактов между волокнами путем деформации полых люменов волокон с частичным преобразованием их в фибриллы. Именно благодаря фибриллам образуются прочные межволоконные связи [10, 11], поэтому целесообразно подмалывать макулатуру, прежде чем вводить ее в средний слой. На рисунке 3 показана разница строения волокон до и после размола [12].

Из рисунков следует, что при деформации волокна высвобождаются фибриллы, способствующие связеобразованию между волокнами, которые в свою очередь увеличивают механическую и межслоевую прочность картона.

Повышенное механическое воздействие приводит к обрыву и разрушению волокон. Повреждение волокон в массе значительно уменьшает прочность, снижая качество картона. Поэтому при размолу макулатурной массы необходимо найти оптимальный минимум механического воздействия на волокно, который определяется удельной нагрузкой на кромки ножей размольной гарнитуры [13] либо используются специальные пульсационные мельницы с щадящим режимом размола [14].

Целью экспериментальных исследований стало определение механических параметров тестовых отливок многослойного картона тест-лайнера с различным содержанием волокон, подготовленных сухим способом. Проводилось определение физико-механических характеристик при введении волокон, подготовленных сухим способом, между слоями, полученными традиционным способом. Исследовались три различных вида волокон, вводимых в качестве среднего слоя: сухое диспергирование; сухое диспергирование с последующим разбавлением; сухое диспергирование с последующим разбавлением и размолу.



Строение первоначального волокна



Строение волокна после размола

Рис. 3. Сравнение строения волокна

Методы исследований

В ходе экспериментальных исследований был получен трехслойный тест-лайнер, включающий в себя традиционный и сухой способ диспергирования волокон. Основные различия свойств отливок зависели от содержания среднего слоя и способа, которым он был получен.

Средняя масса трехслойной отливки составляла 150 г/м^2 . Нижний слой состоял из макулатуры МС-5Б, подготовленной традиционным мокрым способом. Средний слой состоял из макулатуры МС-5Б, которая была получена тремя разными способами: сухим способом диспергирования; сухим способом диспергирования с последующим разбавлением водой; сухим способом диспергирования с последующим разбавлением и размолем в водной среде. Масса квадратного метра среднего слоя в ходе проведения эксперимента составляла (0, 30, 50%) от общей массы отливки. Верхний белый слой состоял из облагороженной макулатуры МС-7А. Масса верхнего и нижнего слоев менялась в соответствии с изменением массы среднего слоя (50, 35, 25%).

Сухое диспергирование проводилось в две стадии с дальнейшей очисткой в аэроциклоне. Сухие волокна были получены в диспергаторах грубого и тонкого диспергирования, затем смешивались с водой в дезинтеграторе. Размол проводился в лабораторном ролле. Роспуск в дезинтеграторе и размол в ролле проводились по стандартной методике [15]. Размол волокон, полученных сухим способом, проводился при минимальном времени обработки в ролле (не более 3 мин).

Определение разрывной длины осуществлялось согласно методике, представленной в [16], сопротивление продавливанию – согласно методике, представленной в источнике [17], белизна отливок определялась по методу, описанному в источнике [18], толщина отливок, масса квадратного метра и мокрое формование отливок проводилось согласно международному стандарту, представленному в источнике [19]. Трехслойный тест-лайнер в лаборатории производился на листоотливном аппарате согласно методике, представленной в работе [20].

Результаты и их обсуждение

Данные по показателям прочности, полученные после тестирования отливок трехслойного картона тест-лайнера с содержанием волокон, сформированных различными способами, не высоки. Это связано с тем, что в процессе подготовки массы не добавлялись упрочняющие химикаты, использующиеся при промышленном производстве. Применение химикатов значительно повышает показатели прочности и жесткости тест-лайнера, в том числе и сопротивление продавливанию на 15–20% [21, 22]. На рисунках 4 и 5 представлены графики изменения физико-механических параметров (сопротивление продавливанию и разрывная длина) в зависимости от содержания аэродинамического среднего слоя.

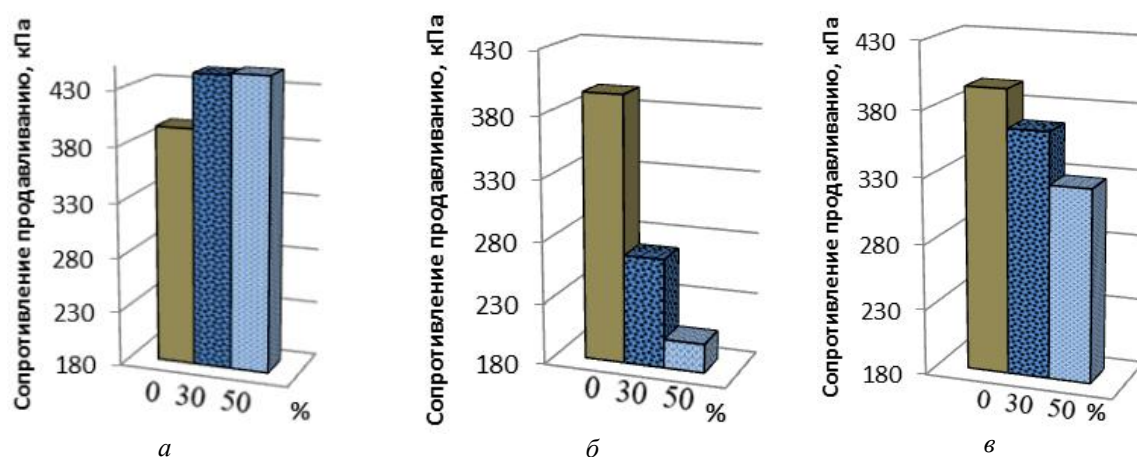


Рис. 4. Зависимость сопротивления продавливанию от массового содержания среднего слоя при применении различных способов подготовки макулатуры МС-5Б (*a* – традиционный способ диспергирования среднего слоя; *b* – сухое диспергирование, смешение с водой; *v* – сухое диспергирование, смешение с водой и размол)

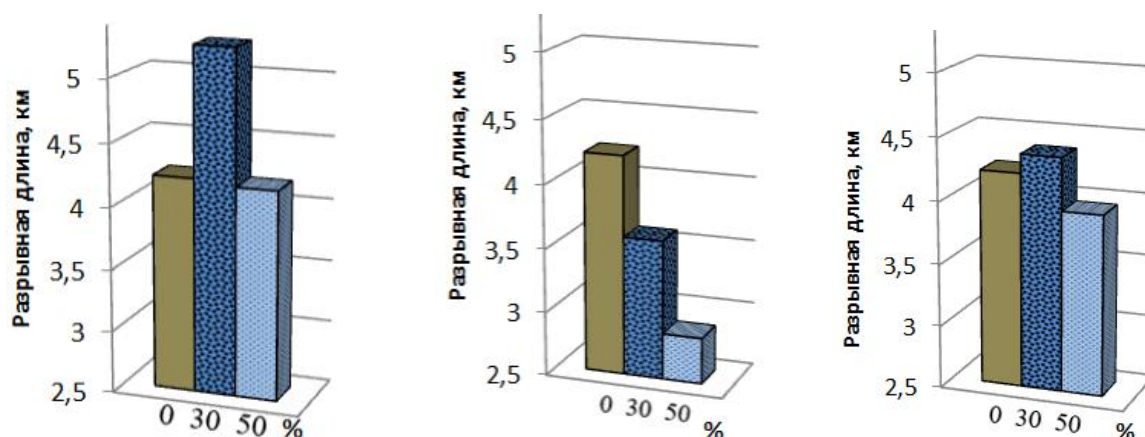


Рис. 5. Зависимость разрывной длины от массового содержания среднего слоя при применении различных способов подготовки макулатуры МС-5Б (*а* – традиционный способ диспергирования среднего слоя; *б* – сухое диспергирование, смешение с водой; *в* – сухое диспергирование, смешение с водой и размол)

Диаграммы на рисунке 4а соответствуют значениям, которые были получены при внедрении в качестве среднего слоя макулатуры, подготовленной традиционным способом. Диаграммы на рисунке 4б соответствуют значениям, которые были получены при внедрении в качестве среднего слоя макулатуры, измельченной в диспергаторе до мелкой фракции и после добавленной в водную среду, а диаграммы на рисунке 4в соответствуют значениям, которые были получены при внедрении в качестве среднего слоя макулатуры, подготовленной традиционным способом, прошедшей стадию диспергирования (пункт «б»), а также добавленной на стадии диспергирования при традиционном способе. Первый столбик диаграммы соответствует значению сопротивления продавливанию двухслойной отливки, состоящий из волокон, полученных из макулатуры МС-5Б и облагороженной писчей печатной макулатуры. При равной массе квадратного метра трехслойный картон обладает большим сопротивлением продавливанию по сравнению с двухслойным (рис. 4а). Закономерности повышения механических показателей картона при традиционном формовании за счет повышения количества слоев были подробно изучены в исследованиях [22]. Основным фактором повышения механических параметров при повышении количества слоев является высокая степень однородности распределения волокон в массе. Характерной особенностью является повышение сопротивления продавливанию на 50 кПа при появлении третьего слоя (рис. 4а). Из рисунка 4а также следует, что в диапазоне изменения 30–50% содержания среднего слоя из макулатуры МС-5Б наблюдается незначительное изменение сопротивления продавливанию. Большой положительный эффект оказывает повышение количества слоев чем содержание волокон в слое.

На основании проведенных экспериментальных исследований была установлена оптимальная дозировка волокон, полученных сухим способом. Незначительный размол массы, содержащей волокна, полученные сухим диспергированием, позволил получить картон лайнер с приемлемыми показателями при 30–50% содержания сухого волокна. Экономия энергии и воды достигается за счет замены некоторых стадий массоподготовки, таких как роспуск в гидроразбивателе, очистка в гидроциклонах, дороспуск в турбосепараторе рисунке 6. Все перечисленные стадии заменяются аппаратами, работающими с сухой волокнистой аэросистемой.

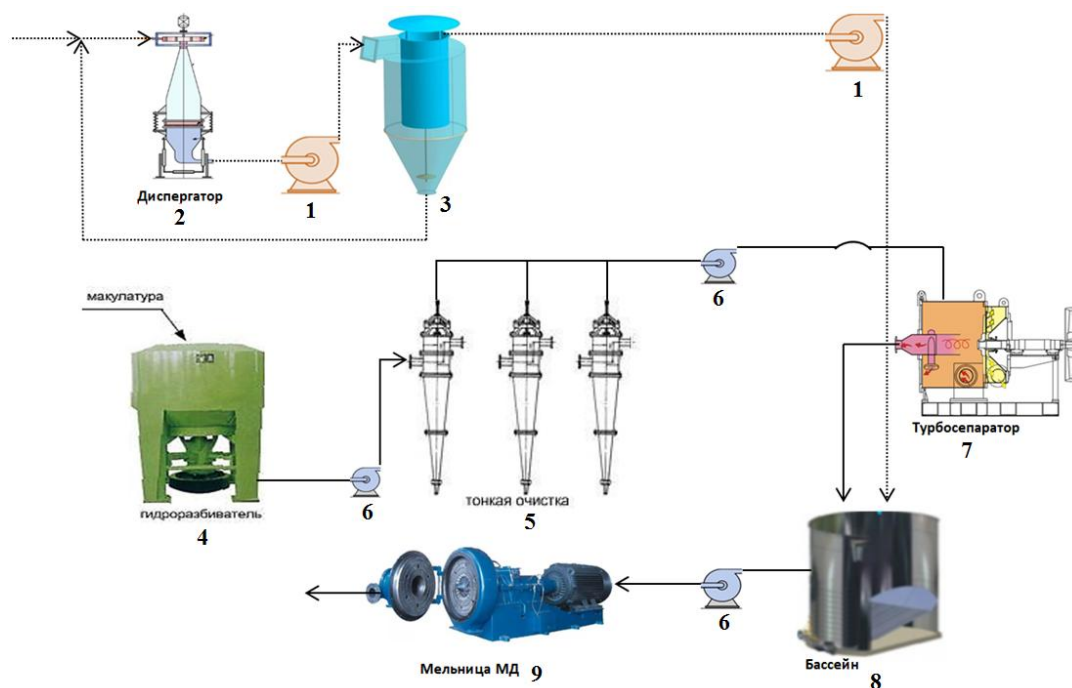


Рис. 6. Рекомендуемая технология подготовки макулатурной массы с учетом технологии сухого диспергирования: 1 – вентилятор, 2 – диспергатор, 3 – аэроциклон, 4 – гидроабиватель, 5 – гидроциклоны, 6 – насос, 7 – турбосепаратор, 8 – бассейн, 9 – мельницы

Выводы

1. Сухое диспергирование растительных волокон, в частности вторичных волокон, приводит к снижению физико-механических показателей картона, которое может быть частично компенсировано последующим увлажнением и размолом волокон.
2. Предложены способы оптимизации композиции тест-лайнера с введением волокон, полученных методом сухого диспергирования, в средний слой трехслойного тест-лайнера.
3. Метод сухого диспергирования и использование сухого волокна в производстве тест-лайнера эффективен благодаря снижению металлоемкости, расходов энергии и воды.

Список литературы

1. Дробосюк В.М. Технология изготовления бумаги аэродинамическим способом: учебное пособие. СПб., 2011. 56 с.
2. Schrinner T., Gailat T., Grossmann H., Malinovskaya G. Dry and semi-dry paper and cardboard production // Professional Papermaking. 2016. N2. Pp. 36–42.
3. Schrinner T., Gailat T., Grossmann H. Dry defibration – A waterless preparation process for difficult-to-recycle paper and board products // TAPPI PaperCon. 2015.
4. Schrinner T., Gailat T., Heinemann S., Lundberg M. Selected pulp properties after dry defibration of several paper products // PTS Pulp Symposium Proceedings. München, 2015.
5. Мидуков Н.П., Ефремкина П.А., Малиновская Г.К., Куров В.С., Смолин А.С. Получение трехслойного вайт-лайнера из вторичных волокон методом аэродинамического формования // Химические волокна. 2017. №1. С. 22–26.
6. Мидуков Н.П., Ефремкина П.А., Малиновская Г.К., Куров В.С., Смолин А.С. Получение трехслойного вайт-лайнера методом аэродинамического формования // Современные задачи промышленных технологий в теплоэнергетическом и лесопромышленном комплексах: материалы научно-практической конференции студентов и аспирантов. СПб., 2016. С. 4–6.
7. Смолин А.С., Аскельрод Г.З. Формование бумаги и картона. М., 1984. 120 с.
8. Аким Э.Л. Основы химии и технологии обработки и переработки бумаги и картона. М., 1979. 229 с.
9. Роговин З.А. Химия целлюлозы. М., 1972. 520 с.
10. Осовская И.И., Бойкова В.С. Влияние размола на термодинамические свойства целлюлозы // Химия растительного сырья. 2015. №1. С. 175–180.

11. Бойкова В.С., Осовская И.И. Сорбционные свойства неразмолотых целлюлозных волокон // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2015. №6. С. 74–78.
12. Hubbe M.A., Venditti R.A., Rojas O.J. What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? // Bio-Resources. 2007. Vol. 2, N4. Pp. 739–788.
13. Гаузе А.А., Гончаров В.Н., Кугушев И.Д. Оборудование для подготовки бумажной массы. М., 1992. 352 с.
14. Мидуков Н.П., Куров В.С., Никифоров А.О. Повышение эффективности процесса диспергирования волокнистой суспензии в роторно-пульсационном аппарате // Известия вузов. Лесной журнал. 2008. №4. С. 116–119.
15. ISO 5263-1. "Pulps – Laboratory wet disintegration – Part 1" International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 2004.
16. ISO 1924-2. "Paper and board – Determination of tensile properties – Part 2: Constant rate of elongation method". International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 1994.
17. ISO 2758. "Determination of bursting strength". International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 2001.
18. ISO 22 754. "Specifies a method for the determination of the effective residual ink concentration (ERIC number) by infrared reflectance measurement". International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 2008.
19. ISO 5269-2. "Pulps – Preparation of laboratory sheets for physical testing – Part 2: Rapid-Köthen method". International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 2004.
20. Midukov N.P., Smolin A.S., Kurov V.S., Schrinner T., Grossmann H. Development and testing of new structure of three-layers test liner cardboard // Materialien zum wissenschaftlichen Seminar der Stipendiaten der Programme "Michail Lomonosov" und "Immanuel Kant III" 2012/2013. Moscow, 2013, Pp. 53–56.
21. Midukov N.P., Schrinner T., Grossmann H., Smolin A.S., Kurov V.S. Effect of virgin fiber content on strength and stiffness characteristics of a three-layer testliner // BioResources. 2015. Vol. 10, N1. Pp. 1747–1756.
22. Мидуков Н.П., Куров В.С., Смолин А.С. Производство многослойного тест-лайнера с белым слоем. СПб., 2018. 208 с.

Поступило в редакцию 1 января 2018 г.

После переработки 6 апреля 2018 г.

Для цитирования: Мидуков Н.П., Ефремов Д.С., Куров В.С., Смолин А.С. Сухой способ диспергирования волокон для последующего производства картона // Химия растительного сырья. 2018. №3. С. 279–286. DOI: 10.14258/jcprm.2018033698.

*Midukov N.P., Efremov D.S.**, Kurov V.S., Smolin A.S. THE PREPARATION OF FIBERS FOR CARDBOARD PRODUCTION

St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Ivana Chernykh st., 4, St. Petersburg, 198095 (Russia), e-mail: naturforscher@outlook.com

The article presents the data about the preparation of recovered paper using dry method. The objective of this method of fiber preparation is to reduce water and energy consumption as well as obtaining higher physical and mechanical characteristics of the cardboard. There is used a dispergator parts of which are constructed with 3D printer. After dry defibration, the purification is carried out. Acquired finely dispersed, refined material is used to produce the three-layer cardboard – test-liner. According to standard methodologies, there were determined such mechanical parameters of multi-layer test-liner as breaking length, bursting strength. Obtained results can be used to produce multi-layer testliner to reduce energy costs, as well as water consumption. As a result of this research, it turned out that using the method of preliminary dry dispersion of fibers, it becomes possible to reduce metal volume of the equipment as well as energy and water consumption. Previously, the mechanical grinding of recycled fibers was not carried out. Therefore the data presented in this article allow assess the cost of applying this method into the industry. The method of dry dispersion, which was carried out and studied in laboratory conditions, is not currently applied in the paper and cardboard industry of Russia, despite its advantages. In the future, it is planned to conduct repeated studies, with a view to the possible introduction of this method into the industry.

Keywords: dry defibration, recovered paper, test-liner cardboard.

* Corresponding author.

References

1. Drobosyuk V.M. *Tekhnologiya izgotovleniya bumagi aerodinamicheskim sposobom*. [Technology of paper making by aerodynamic method]. St. Petersburg, 2011, 56 p. (in Russ.).
2. Schrinner T., Gailat T., Grossmann H., Malinovskaya G. *Professional Papermaking*, 2016, no. 2, pp. 36–42.
3. Schrinner T., Gailat T., Grossmann H. Dry defibration – A waterless preparation process for difficult-to-recycle paper and board products // TAPPI PaperCon. 2015.
4. Schrinner T., Gailat T., Heinemann S., Lundberg M. Selected pulp properties after dry defibration of several paper products // PTS Pulp Symposium Proceedings. München, 2015.
5. Midukov N.P., Yefremkina P.A., Malinovskaya G.K., Kurov V.S., Smolin A.S. *Khimicheskiye volokna*, 2017, no. 1, pp. 22–26. (in Russ.).
6. Midukov N.P., Yefremkina P.A., Malinovskaya G.K., Kurov V.S., Smolin A.S. *Sovremennyye zadachi promyshlennyykh tekhnologiy v teploenergeticheskom i lesopromyshlennom kompleksakh: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i aspirantov*. [Modern problems of industrial technologies in heat and power engineering and timber industry complexes: materials of the scientific-practical conference of students and post-graduate students]. St. Petersburg, 2016, pp. 4–6. (in Russ.).
7. Smolin A.S., Askel'rod G.Z. *Formovaniye bumagi i kartona*. [Forming paper and cardboard]. Moscow, 1984, 120 p. (in Russ.).
8. Akim E.L. *Osnovy khimii i tekhnologii obrabotki i pererabotki bumagi i kartona*. [Fundamentals of chemistry and technology of processing and processing of paper and paperboard]. Moscow, 1979, 229 p. (in Russ.).
9. Rogovin Z.A. *Khimiya tsellyulozy*. [Chemistry of cellulose]. Moscow, 1972, 520 p. (in Russ.).
10. Osovskaya I.I., Boykova V.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2015, no. 1, pp. 175–180. (in Russ.).
11. Boykova V.S., Osovskaya I.I. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2015, no. 6, pp. 74–78. (in Russ.).
12. Hubbe M.A., Venditti R.A., Rojas O.J. *BioResources*, 2007, vol. 2, no. 4, pp. 739–788.
13. Gauze A.A., Goncharov, V.N. Kugushev I.D. *Oborudovaniye dlya podgotovki bumazhnoy massy*. [Equipment for preparation of pulp]. Moscow, 1992, 352 p. (in Russ.).
14. Midukov N.P., Kurov V.S., Nikiforov A.O. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 4, pp. 116–119. (in Russ.).
15. ISO 5263-1. "Pulps – Laboratory wet disintegration – Part 1" International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 2004.
16. ISO 1924-2. "Paper and board – Determination of tensile properties – Part 2: Constant rate of elongation method". International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 1994.
17. ISO 2758. "Determination of bursting strength". International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 2001.
18. ISO 22 754. "Specifies a method for the determination of the effective residual ink concentration (ERIC number) by infrared reflectance measurement". International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 2008.
19. ISO 5269-2. "Pulps – Preparation of laboratory sheets for physical testing – Part 2: Rapid-Köthen method". International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 2004.
20. Midukov N.P., Smolin A.S., Kurov V.S., Schrinner T., Grossmann H. Materialien zum wissenschaftlichen Seminar der Stipendiaten der Programme "Michail Lomonosov" und "Immanuel Kant III" 2012/2013. Moscow, 2013, Pp. 53–56.
21. Midukov N.P., Schrinner T., Grossmann H., Smolin A.S., Kurov V.S. *BioResources*, 2015, vol. 10, no. 1, pp. 1747–1756.
22. Midukov N.P., Kurov V.S., Smolin A.S. *Proizvodstvo mnogosloynnogo test-laynera s belym sloyem*. [Production of a multilayer test liner with a white layer]. St. Petersburg, 2018, 208 p. (in Russ.).

Received January 1, 2018

Revised April 6, 2018

For citing: Midukov N.P., Efremov D.S., Kurov V.S., Smolin A.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 279–286. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2018033698.