

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

УДК 676.157

DOI: 10.53374/1993-0135-2024-5-61-65

Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. XLII, № 5. С. 61–65

АНАЛИЗ ПРИРОСТА СТЕПЕНИ ПОМОЛА ОДНОЛЕТНИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

М. М. Литвинова¹, Ю. Д. Алашкевич¹, Р. А. Марченко¹, С. С. Савенков²

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

²Красноярский государственный аграрный университет
Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 90
E-mail: marg32883@gmail.com

Целлюлозно-бумажная промышленность преимущественно использует лигноцеллюлозное сырье, получаемое как из голосеменных (хвойных деревьев), так и из покрытосеменных (лиственных пород деревьев), при этом в различных технологических применениях предпочтение отдается голосеменным растениям. Это предпочтение можно объяснить присущими голосеменным растениям свойствами волокон, которые, как правило, длиннее, чем у покрытосеменных. Морфология волокон, в частности длина целлюлозных волокон, играет решающую роль в процессе производства бумаги, существенно влияя на бумагообразующие свойства целлюлозы, а также на механические и физические характеристики конечных продуктов. Учитывая растущий спрос на устойчивые и безвредные для окружающей среды методы, целлюлозно-бумажная промышленность изучает потенциал использования однолетних растений в качестве альтернативного источника сырья. Крайне важно исследовать фундаментальные различия в ячеистой структуре и химическом составе этих альтернативных волокон по сравнению с традиционными древесными волокнами, особенно из хвойных пород.

Ключевые слова: бумажная продукция, бумага, растительные полимеры, целлюлоза.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 5, P. 61–65

ANALYSIS OF THE INCREASE IN THE DEGREE OF GRINDING OF ANNUAL PLANT POLYMERS IN PULP AND PAPER PRODUCTION

M. M. Litvinova¹, Yu. D. Alashkevich¹, R. A. Marchenko¹, S. S. Savenkov²

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

²Krasnoyarsk State Agrarian University
90, Mira av., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation.
E-mail: marg32883@gmail.com

The pulp and paper industry mainly uses lignocellulose raw materials obtained from both gymnosperms (coniferous trees) and angiosperms (deciduous trees), while preference is given to gymnosperms in various technological applications. This preference can be explained by the properties of the fibers inherent in gymnosperms, which, as a rule, are longer than those of angiosperms. Fiber morphology, in particular the length of cellulose fibers, plays a crucial role in the paper production process, significantly affecting the paper-forming properties of cellulose, as well as the mechanical and physical characteristics of the final products. Given the growing demand for sustainable and environmentally friendly methods, the pulp and paper industry is exploring the potential of using annual plants as an alternative source of raw materials. It is extremely important to investigate the fundamental differences in the cellular structure and chemical composition of these alternative fibers compared to traditional wood fibers, especially from conifers.

Keywords: paper products, paper, vegetable polymers, cellulose.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

В области целлюлозно-бумажной технологии, независимо от используемого сырья, процесс размола волокнистых полуфабрикатов имеет первостепенное

значение. В течение длительного периода исследователи продолжают широко обсуждать механизмы, участвующие в размолу растительных волокон.

Процесс размола включает в себя механические

воздействия, которые приводят к разрезанию волокон, дроблению, расчесыванию и разделению пучков волокон. Кроме того, это приводит к образованию отдельных ворсинок на поверхности волокон, известных как внешняя фибрилляция. Гидродинамические эффекты в первую очередь возникают из-за взаимодействия волокнистой суспензии с размольными элементами, а также со стенками размольного устройства. Эти гидродинамические эффекты дополняют механические воздействия на волокна, поскольку они подвергаются трению друг о друга и о размольные элементы. Современная теория размола обеспечивает всестороннее понимание структурных изменений, происходящих внутри волокон в процессе размола волокнистых масс, а также проливает свет на последующее влияние этих изменений на свойства бумажной массы. Примечательно, что существенное снижение прочности бумаги во влажном состоянии можно объяснить деградацией и разрушением водородных связей между волокнами. Кроме того, введение наполнителей и других органических или неорганических веществ, если они не способны образовывать связи с целлюлозой, потенциально может снизить прочность бумаги. Это явление возникает из-за усиления расслоения волокон, ухудшения контакта волокон с волокном и, как следствие, снижения общей силы сцепления бумаги [1,3].

В области машин механического воздействия можно провести различие между машинами, использующими сжатие и интенсивный срез, такими как ножевые размалывающие машины, и машинами, использующими сжатие и умеренный срез. На протяжении всей обширной истории производства бумаги эти две категории машин с механическим ударом конкурировали друг с другом. Первоначально операции размола проводились с использованием толчеи, но начиная с 17 века они постепенно вытеснялись более эффективными ножевыми машинами. Тем не менее, фундаментальный принцип приоритетного сжатия при относительно небольшой (умеренной) степени сдвига сохранился в различных конструкциях размольных машин [2].

В конических и дисковых мельницах размол происходит в зазоре между подвижными ножами ротора и неподвижными ножами статора. Однако высокие окружные скорости движения мельющих тел в этих машинах в сочетании с избыточным давлением создают условия для значительно более высоких напряжений сдвига, переменных давлений и более интенсивных воздействий на подвижные и неподвижные элементы машины.

Как при ножевом, так и при безножевом способах размоланаблюдается гидродинамические процессы. В ножевых машинах с небольшими зазорами механическое воздействие входящей кромки ножа ротора на нож статора играет доминирующую роль при обработке волокон. Однако в обоих случаях, интенсивность воздействия гидродинамических сил усиливается при снижении зазора между ножами ротора и статора. К таким гидродинамическим компонентам относятся:

1. Сдвигающие усилия, создаваемые касательными напряжениями в зазоре между ножами ротора и статора.

2. Образование вихревых структур внутри потока волокнистой суспензии в ячейках между лопастями ротора и статора, потенциально приводящих к кавитационным эффектам при турбулентном течении.

Эти явления подчеркивают практическую полезность и прогнозирующие возможности геометрических параметров набора ножей (например, отношение высоты ножа к ширине ячейки между соседними ножами), влияющих на гидродинамические аспекты процесса размола в ножевых станках. В дополнение к геометрическим факторам, зазор между ножами ротора и статора и частота вращения ротора существенно влияют на процесс размола [2].

По сравнению с ножевым размолотом, безножевой размол обеспечивает более деликатный и щадящий режим обработки, что особенно выгодно для волокон, которые уже подверглись ножевому размолу. Следовательно, наряду с достижениями в области ножевых машин большое значение имеют исследования в области методов безножевого размола.

Волокнистые полуфабрикаты, обработанные методами, исключающими взаимодействие ножа с волокнами, обладают повышенными прочностными свойствами и отвечают требованиям современного бумажного производства. Разница между ножевыми и безножевыми методами размола особенно очевидна в количестве двойных перегибов, причем значительная разница составляет 190 % [5].

В большинстве случаев обработка волокнистых материалов в этих устройствах достигается за счет сочетания различных физических воздействий, которые можно разделить на отдельные группы [2; 4; 5]:

1) Эффект кавитации: Этот эффект возникает в результате возникновения, развития и схлопывания кавитационных пузырьков внутри жидкости при определенных условиях, а также их взаимодействия с волокнистым материалом.

2) Эффект пульсации: Этот эффект возникает из-за попеременного увеличения и уменьшения гидравлического давления внутри суспензии. Это тесно связано с явлением распространения волн давления через жидкость, приводящим к выделению энергии.

3) Воздействие волоконна преграду: Это относится к действию волокон, сталкивающихся с твердыми поверхностями рабочих элементов машин.

4) Гидродинамическое трение: Сюда относятся силы трения, вызванные градиентами и скорости в движущейся жидкости.

В зависимости от способа воздействия на волокна безножевые машины подразделяются на газоструйные диспергаторы (использующие принцип измельчения между валами), центробежно-пульсационные, кавитационные, ультразвуковые, «струйно-барьерного» типа и другие варианты [7].

В исследованиях, проведенных Ю.Д. Алашкевичем и его учениками, продемонстрированы заметные изменения в потоке струи из сопла, зависящие от диаметра сопла и силы удара струи о преграду. Полученные результаты показывают, что взаимодействие между струей и препятствием вызывает явления кавитации.

Помимо способов размола, не маловажную часть в целлюлозно-бумажном производстве играет выбор

сырья. Традиционным сырьем в ЦБП, считается древесина хвойных пород, так как у такого вида сырья более длинные волокна, которые имеют весомую роль в качестве бумажного листа.

В связи со значительным расширением производства готовой продукции целлюлозно-бумажного производства появилась необходимость изыскания других видов сырья, отличающиеся краткосрочным созреванием. Использование древесины в качестве сырья целлюлозно-бумажного производства связано с рядом негативных факторов, среди которых [8]:

1. Воздействие на окружающую среду сжигаемого щелока, который остается после варки древесины для избавления от лигнина. Лигнин склеивает волокна древесины, и негативно сказывается на характеристике готовой продукции.

2. При заготовке древесины лесозаготовительные машины разрушают почвенно-грунтовый слой, зацепляя его движителем. Также при работе машины на лесном участке в атмосферу выбрасывается выхлоп от топлива, а иногда топливо проливается в грунт, отравляя его и делая невозможным возобновление лесных ресурсов.

3. Из всего объема заготавливаемой древесины используют около – 36 %, остальное это отходы (кора, лигнин, щепа, ветки).

К однолетним растениям можно отнести: солому, тростник, подсолнечник, техническую коноплю [9]. Из перечисленных однолетних растений наиболее перспективным сырьем на наш взгляд является – техническая конопля. Техническая конопля, является травянистым видом, способным достигать высоты от 1 до 6 метров, что зависит от множества переменных, таких как генетическое разнообразие, параметры окружающей среды и агрономические методы. На протяжении всей фазы своего роста этот вид растений демонстрирует жесткие одревесневшие стебли, диаметр которых может достигать от 2,5 до 5 сантиметров. На морфологические характеристики растения существенное влияние оказывает плотность насаждения. В условиях высокой скорости размножения, когда плотность насаждений увеличивается, растения конопли демонстрируют тонкие стебли с уменьшенным количеством боковых ветвей. И наоборот, более низкая плотность насаждений, характерная черта производства масличных культур, приводит к тому, что растения демонстрируют более высокую степень ветвления со значительно увеличенным диаметром стеблей [11]. Техническая конопля обладает рядом преимуществ для изготовления из неё не только бумажной продукции, но и тканей, косметической продукции и даже продуктов питания. При выращивании технической конопли для продуктов питания (чай, мука, клетчатка, конфеты), остаются отходы, которые сжигают, либо закапывают. Стебель технической конопли представляет собой: первая часть внутренняя составляет 65–75 % комплексного строения стебля, представляет так называемую древесную часть (костру), в которой содержится 40–48 % целлюлозы и значительное содержание лигнина (около 20 %), как в лиственной древесине. Вторая часть стебля внешняя так называемая волокнистая, в которой содержится около 62,4 % цел-

люлозы и сравнительно небольшое содержание лигнина (около 5–7 %). На рис. 1 представлена схема поперечного среза стебля технической конопли.

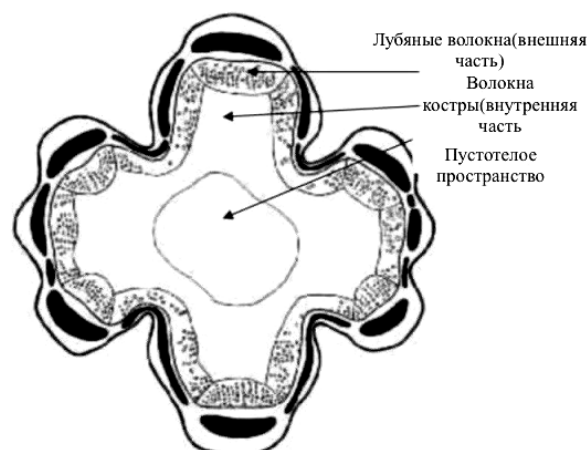


Рис. 1. Поперечное сечение стебля технической конопли

Длина волокон технической конопли составляет 2–4 м, что делает этот вид сырья длинноволокнистым. При исследовании характеристик волокнистого полуфабриката из технической конопли, выделяют её высокую прочность, а именно высокую разрывную длину. Также конопля выращивается ежегодно, это придает сырью доступность, в отличие от древесины. Для сбора технической конопли не нужна специализированная техника – это делает сырье более экологизированным. Целесообразность производства бумаги и последующей переработки зависит от длины волокна, поскольку удлинённые волокна из технической конопли, потенциально удваивают объём циклов переработки бумаги по сравнению с теми, которые основаны на продуктах на древесной основе. Существует утверждение, что выход биомассы из конопли может вытеснить выход биомассы из лесного хозяйства, предполагая, что использование конопли в производстве бумаги могло бы ослабить давление, оказываемое на леса и биоразнообразие, которое они поддерживают. Продуктивность конопли была бы примерно в два раза выше по сравнению с сосновыми плантациями, что еще больше подчеркивает ее потенциал в качестве альтернативного источника для производства бумаги [11].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Принимая во внимание вышеупомянутые соображения относительно целесообразности использования волокнистых полуфабрикатов, из технической конопли, в качестве сырья в отличие от использования в ЦБП древесины, для данного исследования были поставлены задачи:

1. Определить характер изменения степени помола волокнистого полуфабриката из технической конопли и интенсивности его обработки при размоле.

2. Важно проанализировать характер и интенсивность безножевого размола с неподвижной преградой различных составляющих структуры технической конопли, среди которых лубяного слоя (100 %), ком-

плексного полуфабриката состоящего из лубяного слоя 30 % и костры (70 %). Лубяного слоя технической конопли предварительно термически обработанного, в течение 10 минут и 60 минут, лубяного слоя (100 %) при безножевом размоле с использованием подвижной преграды.

3. Выяснить как будут изменяться качественные и количественные характеристики при размоле лубяного слоя 100 % технической конопли при ножевом воздействии на волокно с использованием центробежно-размольным аппаратом (ЦРА).

4. И наконец, определить, какие зависимости будут наблюдаться при безножевом размоле с использованием неподвижной преграды волокнистого полуфабриката из хвойной древесины.

Целесообразно, вышесказанные зависимости сравнить между собой. На рис. 2 показана зависимость между степенью помола от времени размола, определяемая методом Шоппера–Риглера.

На рисунке представлены зависимости степени помола по шкале Шоппер–Риглера от времени обработки полуфабриката при различных условиях помола. Для всех случаев размола, согласно, рисунку имеет место изменения, как качественных, так и количественных зависимостей. Не зависимо от условий размола и вида полуфабриката, наблюдается, рост времени обработки волокна, что, в конечном счете, может отразиться на производительности размольных установок.

Качественные характеристики процесса размола в виде параболы, наблюдается в следующих случаях: при размоле лубяной части технической конопли на ЦРА (зависимость 6), при безножевом размоле с неподвижной преградой лубяной части технической

конопли (зависимость 2), при безножевом размоле с неподвижной преградой лубяной части технической конопли термически обработанной в течении 10 минут (зависимость 3) и лубяного слоя обработанного термически в течении 60 минут (зависимость 4), размол композиции технической конопли на безножевой установке с неподвижной преградой, содержащей 70 % костры и 30 % лубяного слоя (зависимость 5). Качественные характеристики процесса размола в виде обратной параболы наблюдается в двух случаях. В частности, при обработке лубяных волокон технической конопли при безножевом размоле с подвижной преградой (зависимость 1) и размол хвойной бисульфитной небелёной целлюлозы на безножевой установке с неподвижной преградой (зависимость 7).

Не зависимо от вида размалываемого полуфабриката при безножевом размоле количественные зависимости очень близки друг к другу. В частности, время размола полуфабрикатов при безножевом размоле до 55 °ШР имеет разницу во времени размола для зависимостей – 2, 3, 4, 5 составляет приблизительно 3–5 %. В то же время продолжительность размола лубяного волокна на ЦРА до 55 °ШР, составляет 15 минут, в то время как для зависимостей – 2, 3, 4, 5 время размола составляет – 10,5 минут. При безножевом размоле лубяного волокна с использованием подвижной преграды (зависимость 1) и при безножевом размоле хвойной бисульфитной небелёной целлюлозы с неподвижной преграды (зависимость 7), в отличие, от зависимостей 2, 3, 4, 5, наблюдается, менее интенсивный прирост степени помола. При сравнении зависимостей 1 и 7, предпочтение по затраченному времени при размоле следует отдать зависимости – 7.

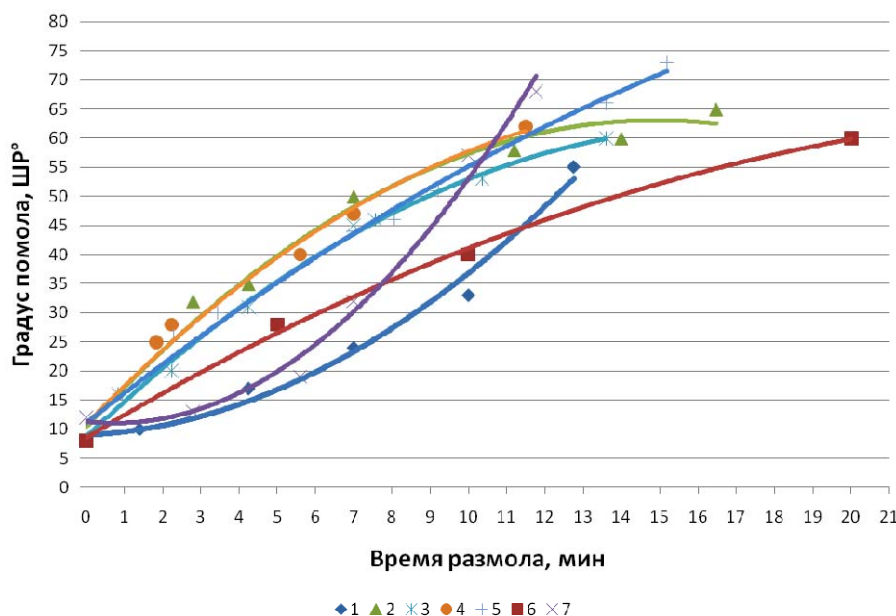


Рис. 2. Степень помола по шкале Шоппер–Риглера от времени размола:

1 – Размол лубяной части технической конопли на безножевой установке (подвижная преграда); 2 – Размол лубяной части технической конопли на безножевой установке (неподвижная преграда); 3 – Размол лубяной части технической конопли термически обработанной в течение 10 минут на безножевой установке; 4 – Размол лубяной части технической конопли термически обработанной в течении 60 минут безножевой установке; 5 – Размол композиции технической конопли на безножевой установке (70 % костры, 30 % лубяного волокна); 6 – Размол лубяной части технической конопли на ЦРА; 7 – Размол хвойной бисульфитной небелёной целлюлозы на безножевой установке

ВЫВОДЫ

Не зависимо от вида полуфабриката качественные характеристики безножевого размола с неподвижной преградой подчиняются зависимости в виде параболы.

Количественные значения прироста степени помола по шкале Шоппер–Риглера при безножевом размоле волокнистого полуфабриката близки к значениям ножевого размола на ЦРА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Корда Ж., Либнар З., Прокоп Ю. Размол бумажной массы. М. : Лесная промышленность, 1967. 421 с.
2. Алашкевич Ю. Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах [Текст] : дис. ... д-ра. техн. наук: 05.21.03 / Ю. Д. Алашкевич. Красноярск, 1987. 361 с.
3. Марченко Р. А. Интенсификация безножевого размола волокнистых полуфабрикатов в целлюлозно-бумажном производстве: диссертация ... канд. техн. наук: 05.21.03 / Марченко Роман Александрович [Место защиты: Сибирский государственный технологический университет], 2016. 161 с.
4. Ерофеева А. А. Безножевой размол волокнистых полуфабрикатов с учетом реологических особенностей суспензий : диссертация ... кандидата технических наук : 05.21.03 / Ерофеева Анна Александровна [Место защиты: Сиб. гос. технол. ун-т]. Красноярск, 2012. 134 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/1842.
5. Кутовая Л. В. Комплексный параметр процесса обработки волокнистых суспензий безножевым способом в установке типа «Струя-Преграда» : специальность 05.21.03 «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кутовая Лариса Владимировна. Красноярск, 1998. 20 с.
6. Where does your paper come from? The good and the bad news. [Электронный ресурс] URL: <https://www.popsci.com/environment/paper-products-sustainability/>
7. Патент № 2363792 C1 Российская Федерация, МПК D21C 1/00. установка для измельчения волокнистого материала : № 2008119775/12 : заявл. 19.05.2008 : опубл. 10.08.2009 / Ю. Д. Алашкевич, В. И. Ковалев, А. И. Невзоров, Р. А. Марченко ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный технологический университет».
8. Григорьева Н. П., Нугманов О. К., Нусинович Д. С., Сопин В. Ф., Лебедев Н. А. Технология получения целлюлозы из травянистых растений и ее свойства // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 3.
9. J. Fike, Industrial hemp: renewed opportunities for an ancient crop, Crit. Rev. Plant Sci. 35 (2016) 406–424, <https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1257842>.
10. Патент № 2399706 C1 Российская Федерация, МПК D21B 1/00, B02C 17/00. центробежный размалывающий аппарат : № 2009103391/12 : заявл. 02.02.2009 : опубл. 20.09.2010 / Ю. Д. Алашкевич, В. И. Ковалев, И. А. Воронин, В. Г. Васютин ; заявитель

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный технологический университет».

REFERENCES

1. Korda Zh., Libnar Z., Prokop Yu. Razmol bumazhnoy massy. M. : Lesnaya promyshlennost', 1967. 421 s.
2. Alashkevich, Yu. D. Osnovy teorii gidrodinamicheskoy obrabotki voloknistykh materialov v razmol'nykh mashinakh [Tekst] : dis. ... dok. tekhn. nauk: 05.21.03. Krasnoyarsk, 1987. 361 s.
3. Marchenko R. A. Intensifikatsiya beznozhevogo razmola voloknistykh polufabrikatov v tsellyulozno-bumazhnom proizvodstve: dissertatsiya ... kandidata Tekhnicheskikh nauk: 05.21.03 / Marchenko Roman Aleksandrovich [Mesto zashchity: Sibirskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet], 2016. 161 s.
4. Erofeyeva A. A. Beznazhevoy razmol voloknistykh polufabrikatov s uchetom reologicheskikh osobennostey suspenziy : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.21.03 / Yerofeyeva Anna Aleksandrovna [Mesto zashchity: Sib. gos. tekhnol. un-t]. Krasnoyarsk, 2012. 134 s.: il. RГB OD, 61 12-5/1842.
5. Kutovaya L. V. Kompleksnyy parametr protsessy obrabotki voloknistykh suspenziy beznazhevym sposobom v ustanovke tipa "Struya-Pregrada" : spetsial'nost' 05.21.03 "Tekhnologiya i oborudovaniye khimicheskoy pererabotki biomassy dereva; khimiya drevesiny" : avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Kutovaya Larisa Vladimirovna. Krasnoyarsk, 1998. 20 p.
6. Where does your paper come from? The good and the bad news. [Elektronnyy resurs] URL: <https://www.popsci.com/environment/paper-products-sustainability/>.
7. Patent № 2363792 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK D21C 1/00. ustanovka dlya izmel'cheniya voloknistogo materiala : № 2008119775/12 : zayavl. 19.05.2008 : opubl. 10.08.2009 / Yu. D. Alashkevich, V. I. Kovalev, A. I. Nevzorov, R. A. Marchenko ; zayavitel' Gosudarstvennoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego professional'nogo obrazovaniya "Sibirskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet".
8. Grigor'yeva N. P., Nugmanov O. K., Nusinovich D. S., Sopin V. F., Lebedev N. A. Tekhnologiya polucheniya tsellyulozy iz travyanistykh rasteniy i yeye svoystva // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2011. № 3.
9. Fike J. Industrial hemp: renewed opportunities for an ancient crop, Crit. Rev. Plant Sci. 35 (2016) 406–424, <https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1257842>.
10. Patent № 2399706 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK D21B 1/00, B02C 17/00. tsentrobezhnyy razmal'yayushchiy apparat : № 2009103391/12 : zayavl. 02.02.2009 : opubl. 20.09.2010 / Yu. D. Alashkevich, V. I. Kovalev, I. A. Voronin, V. G. Vasyutin ; zayavitel' Gosudarstvennoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego professional'nogo obrazovaniya "Sibirskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet".

© Литвинова М. М., Алашкевич Ю. Д.,
Марченко Р. А., Савенков С. С., 2024