

УДК 676.054.3

## ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

© *Г.К. Малиновская\**, *Е.Г. Смирнова*

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, 198092 (Россия), e-mail: m-gk@mail.ru*

Роспуск первичных и вторичных целлюлозных полуфабрикатов для получения распущенного волокнистого продукта приобретает все большую актуальность в связи с ростом его использования в различных отраслях промышленности. В существующем оборудовании распускают сухой полуфабрикат, при этом целлюлозные волокна частично теряют свои бумагообразующие свойства. В технологии аэродинамического формования бумаги диспергируют влажный целлюлозный полуфабрикат, это сохраняет способность волокон к связеобразованию и исключает их механическое разрушение. Одновременно с роспуском осуществляется отделение индивидуальных волокон от неразбитых пучков волокнистой массы.

На лабораторной установке аэродинамического формования получали распущенную целлюлозу диспергированием сухого и влажного целлюлозных полуфабрикатов. Проведено сравнение свойств волокон по значению их удельной поверхности и способности к образованию бумаги с требуемыми для эксплуатации прочностными характеристиками. Значение разрушающего усилия бумаги, сформованной из влажных волокон, в 4 раза выше, чем у бумаги из сухих волокон. Показана возможность применения распущенной целлюлозы при изготовлении трехслойной бумаги санитарно-гигиенического назначения, по значениям разрушающего усилия соответствующей требованиям ГОСТ Р 52354-2005 группы Б.

Диспергатор аэродинамического формования бумаги может найти применение как альтернативное оборудование для разделения целлюлозных материалов с одновременным сортированием волокон.

*Ключевые слова:* распущенная целлюлоза, аэродинамическое формование бумаги, диспергатор, удельная поверхность волокон, многослойная бумага.

### **Введение**

Диспергированная (распущенная) целлюлоза широко используется в целлюлозно-бумажной, нефтедобывающей промышленности, производстве стройматериалов и в медицине [1–9]. Перспективными для получения распущенной целлюлозы считаются способы сухого роспуска целлюлозных полуфабрикатов и вторичного сырья, как наиболее экологичные, водо- и энергосберегающие [10–20]. Однако при сухом роспуске волокнистых полуфабрикатов отмечается ухудшение качественных показателей распущенной целлюлозы из-за укорочения волокон, наличия узелков и сгустков неразбитой массы. Для повышения способности волокон к образованию межволоконных связей после сухого диспергирования целлюлозный материал обрабатывают водой или проводят дополнительный водный размол массы, что увеличивает время и энергоёмкость процесса [11, 14, 15, 20, 21].

Распущенная целлюлоза используется при производстве санитарно-гигиенических изделий, основными производителями которых являются США, Швеция и Финляндия. Три американских фирмы GP Cellulose, International Paper, Weyerhaeuser по данным [22] обеспечивают 62% мирового потребления распущенной целлюлозы.

В России рынок распущенной целлюлозы не развит. Планируется довести потребление хвойной распущенной целлюлозы к 2025 году до уровня 180 тыс. т в год, а производство распущенной целлюлозы на

*Малиновская Галина Кирилловна* – кандидат химических наук, ведущий инженер ПНИЛ, e-mail: m-gk@mail.ru

*Смирнова Екатерина Григорьевна* – профессор, доктор технических наук, заведующая кафедрой технологии бумаги и картона, e-mail: smirnovalta@gmail.com

AO «Архангельский ЦБК». В настоящее время диспергирование волокнистых полуфабрикатов осуществляют на малогабаритном оборудовании сухого роспуска [23–26].

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Для получения распушенной целлюлозы авторы статьи предлагают диспергатор, применяемый в технологии аэродинамического формования бумаги и картона [12, 27–30]. Отличием от известных способов сухого диспергирования является возможность формирования непрерывного волокнистого слоя различной массоемкости с получением рулонного материала. Сохранение в волокнах на формирующей сетке определенного количества воды обеспечивает необходимое для некоторых видов санитарно-гигиенических изделий межволоконное связеобразование и достаточную прочность.

### Объекты и методы исследования

В отличие от сухого роспуска в технологии аэродинамического формования бумаги диспергируют влажные первичные или вторичные целлюлозосодержащие материалы, что позволяет исключить механическое разрушение самих волокон. При влажности материала 45–50% достигается практически полная гидратация поверхностных карбоксильных групп целлюлозных волокон, участвующих в образовании межволоконных водородных связей и происходит их «гидратационное разрушение» без повреждения структуры волокна. Показано [28], что значения длины волокон и разрывного усилия влажных волокон после полусухого диспергирования идентичны с аналогичными показателями после водного роспуска.

После диспергирования распушенный материал имеет сетчатую структуру с массой на единицу площади, равной  $25 \text{ г/м}^2$ . Волокнистый слой передается с формирующей сетки на транспортировочную сетку или сукно и может легко сжиматься в зазоре прессы с получением ролевой распушенной целлюлозы [12].

Разделение целлюлозных материалов на отдельные волокна осуществляется в диспергаторе, схема которого представлена на рисунке 1. Диспергатор состоит из ротора 1, представляющего собой два диска 2, установленных на валу. Между дисками расположены роторные лопатки 3. Ротор помещен в разборный корпус, состоящий из статорных элементов 4. Между статорными элементами расположены каналы 5 для продува потока воздуха, который удаляется через патрубок 6. В патрубке 6 помещены плоские статорные лопатки 7, препятствующие вращательному движению воздушного потока, выходящего из диспергатора. Принудительный продув воздушного потока через вращающийся ротор диспергатора обеспечивается вытяжным вентилятором, с которым соединен патрубок 6.

Для обоснования оптимальной конструкции (геометрические параметры ротора и статорных элементов) и оптимального режима работы диспергатора разработана математическая модель вышеперечисленных процессов, протекающих в диспергаторе при получении аэровзвеси влажных волокон в потоке влажного воздуха [27]. Оптимальное сочетание скорости вращения ротора и радиальной составляющей скорости потока воздуха, продуваемого через аппарат, позволяет осуществить в рабочем объеме диспергатора одновременно два процесса: механическое разделение волокнистого полуфабриката на отдельные волокна; аэродинамическое сортирование разделяемого волокнистого материала – отделение потоком воздуха индивидуальных волокон от более крупных частиц неразволокнутого полуфабриката.

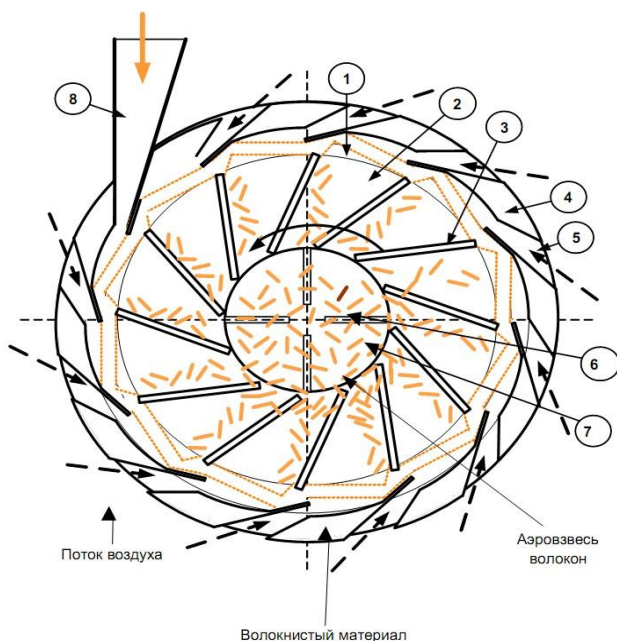


Рис. 1. Схема работы диспергатора:  
1 – ротор; 2 – диск ротора; 3 – лопатки ротора; 4 – статорные элементы;  
5 – каналы подачи потока воздуха;  
6 – патрубок для удаления из диспергатора аэровзвеси отдельных волокон; 7 – плоские статорные лопатки; 8 – канал подачи материала в диспергатор

*Механическое разделение волокнистого полуфабриката.* Разделение волокнистого полуфабриката на волокна осуществляется в результате многократного разрыва крупных частиц материала, поступающего в диспергатор. По каналу 8 (рис. 1) влажный полуфабрикат подается в диспергатор. Под действием ударов лопаток ротора и циркуляционного потока воздуха, создаваемого вращением ротора, волокнистый полуфабрикат вовлекается во вращательное движение, подвергается ударам роторных лопаток, разрывается и высвобождает индивидуальные волокна. Предотвращение механических повреждений волокон в процессе диспергирования обеспечивается растяжением участков волокнистого материала.

*Аэродинамическое сортирование волокнистого материала.* На волокна и частицы волокнистого материала в зоне внешнего среза роторных лопаток действуют две силы:

- центробежная сила, действующая на волокна и частицы волокнистого материала при столкновении с роторными лопатками;
- сила аэродинамического сопротивления волокон и частиц принудительно продуваемому потоку воздуха, направление движения которого противоположно направлению центробежной силы.

Процесс сортирования в диспергаторе осуществляется за счет баланса указанных сил и описывается дифференциальным уравнением:

$$m_p \times \frac{dU_p}{dt} = C_w \times S_p \times \frac{\rho_a}{2} \times (V_R - U_p)^2 - m_p \times \frac{V_{rot}^2}{R_{rot}}, \quad (1)$$

где  $m_p$  – масса волокна;  $U_p$  – скорость перемещения волокна вдоль радиуса ротора;  $t$  – время;  $S_p$  – площадь поперечного сечения частицы волокнистого материала;  $\rho_a$  – плотность воздуха;  $V_R$  – скорость потока воздуха, направленного к оси вращения ротора;  $V_{rot}$  – окружная скорость вращения ротора;  $R_{rot}$  – радиус внешнего среза лопаток ротора;  $C_w$  – коэффициент аэродинамического сопротивления волокна.

Величина  $m_p \cdot dU_p/dt$  представляет собой силу инерции частицы, возникающую при изменении ее скорости перемещения вдоль «рабочей» плоскости статорных элементов по сравнению со скоростью свободного перемещения. Уменьшение скорости потока обусловлено силой трения частиц о «рабочую» плоскость статорных элементов.

Первое слагаемое правой части уравнения (1) описывает силу аэродинамического давления на частицу потока воздуха, продуваемого через диспергатор. Величина силы аэродинамического давления зависит от площади поперечного сечения частицы. Второе слагаемое правой части уравнения (1) характеризует величину центробежной силы, действующей на частицу во вращающемся на внешнем срезе ножей ротора потоке целлюлозного материала. Величина центробежной силы зависит от массы частицы.

Направления центробежной силы и силы аэродинамического давления на частицу потока воздуха противоположны. Вынос волокон потоком воздуха осуществляется при соблюдении следующего условия: сила аэродинамического давления потока воздуха на волокна, направленная к оси вращения ротора, больше силы инерции вращения волокон, направленной к наружной стенке диспергатора.

При сцеплении четырех индивидуальных волокон величина отношения массы к площади поперечного сечения частички отличается в два раза, что позволяет осуществлять отделение индивидуальных волокон от крупных частиц полуфабриката и вынос индивидуальных волокон из зоны диспергирования [27].

*Сушка полуфабриката в процессе разволокнения.* В зоне разделения влажного полуфабриката на отдельные волокна происходит его сушка. Воздух, просасываемый через диспергатор вентилятором, насыщается парами воды, испаряемой из целлюлозного полуфабриката, а влажность волокнистого материала снижается с 50 до 35%.

Для обеспечения сушки целлюлозы необходимо соблюдение следующего баланса содержания воды в воздухе и целлюлозе [12]:

$$q_t \times (U_{in} - U_{out}) = G_R \times (C_s - C_o), \quad (2)$$

где  $q_t$  – скорость разволокнения полуфабриката кг/сек;  $U_{in}$  – влагосодержание полуфабриката, поступающего в диспергатор, кг воды/кг волокна;  $U_{out}$  – влагосодержание отдельных волокон целлюлозы, выходящих из диспергатора в потоке аэровзвеси, кг воды/кг волокна;  $G_R$  – величина расхода воздуха, проходящего через

диспергатор, м<sup>3</sup>/сек;  $C_s$  – концентрация насыщения паров воды в воздухе, кг/м<sup>3</sup>;  $C_o$  – концентрация паров воды в воздухе, поступающем в диспергатор, кг/м<sup>3</sup>.

При ударе о роторные лопатки волокнистый полуфабрикат распадается на крупные частицы, что возможно при ограниченности деформации растяжения волокнистого полуфабриката и определяет величину его начальной влажности. Крупные частицы полуфабриката подсыхают с поверхности, волокна отделяются от частицы и удаляются потоком воздуха при отсутствии свободной межволоконной воды, что соответствует влажности волокон 30–35%.

Сохранение влажности волокон определяется технологическими параметрами получения аэровзвеси волокон в соответствии с уравнением (2). Температурно-влажностный режим процесса аэроформования обеспечивает испарение из целлюлозного полуфабриката только свободной межволоконной воды и насыщение воздушного потока испаряемой водой до относительной влажности не менее 97.5%.

### Экспериментальная часть

Принципиальным отличием роспуска полуфабриката в диспергаторе аэродинамического формования от существующего сухого роспуска является использование влажного материала с целью сохранения связеобразующих свойств волокон. Проведено сравнение свойств волокон, полученных методом сухого и полувлажного диспергирования. Роспуск волокнистого полуфабриката осуществляли в диспергаторе аэродинамического формования, имеющем следующие характеристики: количество лопаток ротора и статорных элементов – 8; радиус ротора – 75 см; частота вращения ротора 2800 об./мин; скорость подачи волокнистого полуфабриката в рабочую зону – 1.5–2 г/сек. Расход воздушного потока, проходящего через лабораторную установку аэродинамического формования, составлял 0.2 м<sup>3</sup>/сек. При сухом роспуске относительная влажность входящего воздуха составляла 75%, при аэродинамическом формовании – 90%.

В работе использована неразмолотая сульфатная беленая хвойная целлюлоза марки ХБ-1 АО Архангельский ЦБК. На лабораторном диспергаторе проведен роспуск сухого и влажного полуфабриката. Из полученных волокон сформованы образцы бумаги массой 80 г/м<sup>2</sup> и плотностью 700 кг/м<sup>3</sup>.

Известно, что величина удельной поверхности волокон может служить оценкой их способности к связеобразованию при получении бумаги [31, 32]. Удельную поверхность измеряли методом тепловой десорбции аргона на хроматографе ЛХМ-72 [33]. Массу 1 м<sup>2</sup> образцов бумаги определяли по ГОСТ 13199, разрушающее усилие – по ГОСТ ИСО 1924-1-96. Плотность листа вычисляли как отношение массы квадратного метра бумаги к толщине листа, измеренной по ГОСТ 27015.

Удельная поверхность волокон исходного полуфабриката и диспергированных волокон в зависимости от их влагосодержания и разрывная прочность сформованной методом аэродинамического формования образцов бумаги представлены в таблице 1.

Примеры таблицы 1 показывают, что при сухом роспуске полуфабриката сформованная бумага имеет низкую прочность при растяжении. Использование влажного полуфабриката и сохранение влажности диспергированных волокон на уровне 30% способствует получению прочной бумаги.

Величина удельной поверхности влажного распушенного материала свидетельствует о том, что значительная часть поверхности диспергированных волокон свободна от межволоконных контактов. Дополнительное увлажнение волокнистого слоя и сближение волокон при прессовании вовлекают участки молекулярных цепей волокон в межволоконную связь с образованием прочного листа бумаги. Разрушающее усилие бумаги возросло в ~4 раза по сравнению с бумагой из сухих волокон.

На рисунке 2 представлены фотографии волокон, прошедшие сухой роспуск и роспуск во влажном состоянии с сохранением влажности на формирующей сетке. Фотографии получены на оптическом микроскопе «Микромед-3», увеличение ×100.

Таблица 1. Удельная поверхность волокнистого материала и прочность сформованной из него бумаги в зависимости от влажности волокон

№	Начальная влажность полуфабриката, %	Удельная поверхность полуфабриката, м <sup>2</sup> /г	Влажность диспергированных волокон, %	Удельная поверхность диспергированных волокон, м <sup>2</sup> /г	Разрушающее усилие бумаги, Н
1	14.8±0.3	14.4±0.7	6.0±0.1	1.9±0.1	11.1±0.4
2	50.0±1.0	77.3±4.1	30.0±0.6	43.2±2.1	43.1±1.2

При влажном роспуске волокна не скручиваются, по форме и размерам аналогичны первичным волокнам (рис. 2а), сохраняются наружные фибриллы, которые после увлажнения способствуют межволоконному связеобразованию.

При сухом роспуске (рис. 2б) наблюдаются продольное скручивание, обрывы и изломы волокон. Из зоны диспергирования происходит вынос мелких частиц, обломков волокон и наружных фибрилл, что свидетельствует об отсутствии процесса сортирования волокон в диспергаторе при сухом роспуске.

Сухие волокна испытывают деформацию кручения и за счет внутренних напряжений в поверхностном слое закручиваются вдоль оси. Волокна, проявившие необратимую деформацию кручения, занимают меньшую площадь в плоскости волокнистого слоя, чем плоские волокна. Удельная поверхность таких волокон составляет  $1.9 \text{ г/м}^2$  (табл. 1). Дополнительное увлажнение волокнистого слоя до влажности 70%, используемое при изготовлении бумаги аэродинамическим способом, и повышение локальной однородности структуры слоя в процессе прессования не восстанавливают полностью способность волокон к связеобразованию. Авторы [29] указывали на снижение длины волокон целлюлозы после сухого диспергирования по сравнению с диспергированием влажного полуфабриката. По этим причинам прочность образцов бумаги, сформованных из сухих волокон, низкая.

Волокнистый слой, сформованный аэродинамическим методом, имеет слабосвязанную структуру и высокую пористость. Эти свойства слоя могут быть востребованы при производстве бумаги санитарно-гигиенического назначения. В работе [34] описана технология получения санитарно-гигиенической бумаги аэродинамическим способом. Нами проведено сравнение прочности на разрыв трехслойной бумаги аэроформования (табл. 2, №1, 2) с прочностью образца целлюлозной бумаги тисью промышленного производства (табл. 2, №3).

Трехслойные образцы бумаги изготавливали из двух образцов хвойной целлюлозы массой  $30 \text{ г/м}^2$ , которые увлажняли между двух сукон и уплотняли на вальцовом прессе. Влажность подготовленных крайних слоев составляла 45%, прочность на разрыв  $6.0 \pm 0.2 \text{ Н}$ . Между подготовленными образцами помещали волокнистый слой из лиственной целлюлозы влажностью  $\sim 30\%$ . Характеристики образцов представлены в таблице 2.

Данные таблицы 2 свидетельствуют о подобию свойств санитарно-гигиенической бумаги, изготовленной аэродинамическим и традиционным формованием. Образцы бумаги аэроформования характеризуются высокой пухлостью, ростом влагопрочности с увеличением массы метра квадратного бумаги и соответствуют по значениям разрушающего усилия требованиям ГОСТ Р 52354-2005 группы Б изделиям из бумаги бытового и санитарно-гигиенического назначения.

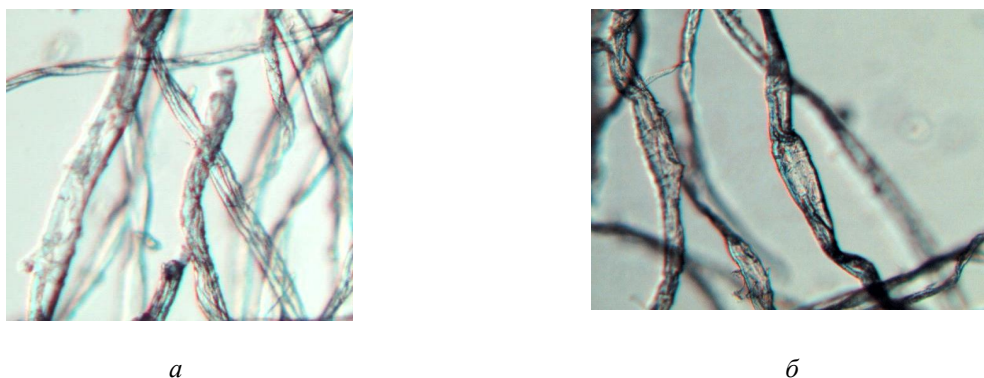


Рис. 2. Фотографии волокон после роспуска влажного (а) и сухого (б) полуфабриката

Таблица 2. Физико-механические характеристики трехслойных образцов бумаги

№	Масса бумаги, $\text{г/м}^2$	Плотность бумаги, $\text{г/м}^3$	Пухлость бумаги, $\text{см}^3/\text{г}$	Разрушающее усилие бумаги, Н	
				сухие образцы	влажные образцы
1	100	210	4.1	$4.9 \pm 0.20$	$0.9 \pm 0.04$
2	104	215	4.7	$5.5 \pm 0.20$	$1.0 \pm 0.04$
3	113	245	4.1	$4.0 \pm 0.16$	$2.0 \pm 0.08$

### **Заключение**

Показана возможность применения оборудования аэродинамического формования бумаги для получения распушенной целлюлозы. Предлагаемая конструкция и технологический режим работы диспергатора позволяют распустать целлюлозные полуфабрикаты во влажном состоянии с одновременным сортированием волокон.

Исследованием показано повышение прочности на разрыв в 4 раза образцов бумаги, сформованных при роспуске влажного полуфабриката, по сравнению с образцами бумаги из сухих волокон.

Волокнистый слой, полученный аэродинамическим способом формования, можно использовать в составе многослойной бумаги санитарно-гигиенического назначения при сохранении основных требований к конкретному виду продукции.

### **Список литературы**

1. Дмитриев М.Д., Бондаренко М.В. Сухой способ изготовления длинноволокнистой бумаги // Научные труды ЦНИИБ. М.; Л., 1956. Вып. 41. С. 22–26.
2. Морозов И.М., Якимов В.А., Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д., Зырянов М.А. Получение древесноволокнистых плит сухим способом производства, изготовленных с использованием древесноволокнистых отходов от форматно-обрезных станков // Химия растительного сырья. 2015. №4. С. 119–124. DOI: 10.14258/jcrpm.201504852.
3. Патент №690104 (СССР). Способ получения распушенной целлюлозы / И.Е. Вьюков, А.Н. Глазунов, В.Б. Набилков, В.А. Ионов, В.С. Потапов, В.Т. Йахно, В.А. Чуйков. 1979.
4. Патент №1334789 (СССР). Способ аэродинамического формования волокнистого слоя и устройство для его осуществления / В.А. Белавин, А.Е. Гушин. 1984.
5. Патент №1586295 (РФ). Устройство для аэродинамического формования волокнистого слоя / В.А. Белавин, А.Е. Гушин. 1995.
6. Патент №2100508 (РФ). Способ аэродинамического изготовления картона, писчей или печатной бумаги / О.А. Терентьев, В.М. Дробосюк. 1997.
7. Патент №2671141 (РФ). Способ и устройство для подготовки сырья в производстве строительных материалов / Н.Г. Чистова, А.В. Рубинская, В.Н. Матыгулина, М.А. Зырянов, Н.В. Аксенов, А.А. Петрова, И.М. Морозов. 2018.
8. Чистова Н.Г. Переработка древесных отходов в технологическом процессе получения древесноволокнистых плит: дис. ... докт. техн. наук. Красноярск, 2010. 415 с.
9. Чистова Н.Г., Матыгулина В.Н. Теоретические аспекты процесса роспуска древесноволокнистых отходов в аэродинамических средах // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 475–484. DOI: 10.14258/jcrpm.2020048188.
10. Акулов Б.В., Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н., Хакимов Р.Х. Исследование возможности роспуска газетной макулатуры полусухим способом // Химия растительного сырья. 2010. №3. С. 167–172.
11. Алашкевич Ю.Д., Пен Р.З., Каретникова Н.В., Чендылова Л.В. Переработка влагопрочной макулатуры с полимерным покрытием. 1. Роспуск макулатуры // Химия растительного сырья. 2019. №4. С. 399–405. DOI: 10.14258/jcrpm.2019045486.
12. Дробосюк В.М. Технология изготовления бумаги аэродинамическим способом. Научное издание. СПб, 2011. 55 с.
13. Лыченко А.А. Применение сухого диспергирования отходов производства бумаги и бумажной продукции в процессе массоподготовки: дисс. ... канд. техн. наук. СПб, 2016. 115 с.
14. Midukov N.P., Efremkina P.A., Malinovskaya G.K., Kurov V.S., Smolin A.S. Production of three-layered testliner with a white layer by aerodynamic middle-layer molding technology // Fibre Chemistry. 2017. Vol. 49. N1. Pp. 21–23. DOI: 10.1007/s10692-017-9833-7.
15. 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/jcrpm.2018033698.
16. Патент №2583362 (РФ). Способ переработки целлюлозосодержащих отходов / А.А. Лыченко, П.С. Осипов, Л.А. Галкина. – 2016.
17. Шрайнер Т., Гроссманн Х., Мидуков Н.П., Куров В.С., Смолин А.С. Влияние сухого диспергирования макулатуры на свойства многослойного картона // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 251–260. DOI: 10.14258/jcrpm.2020046956.
18. Schrinner T., Gailat T., Grossmann H. Dry defibration – A waterless preparation process for difficult-to-recycle paper and board products // TAPPI Paper Conference Proceedings. Atlanta, Georgia, USA, 2015.
19. Schrinner T., Gailat T., Heinemann S., Lundberg M. Selected pulp properties after dry defibration of several paper products // PTS Pulp Symposium. München, 2015.
20. Schrinner T., Gailat T., Grossmann H., Malinovskaya G. Dry and semi-dry paper and cardboard production. Saving opportunities and development potential // Professional Papermaking. 2016. N2. Pp. 36–42.
21. Патент №2641136 (РФ). Распушенная целлюлоза и сердцевина с высоким содержанием САП / Д.Е. Сили, Б.А. Филдс, П.М. Фроасс. – 2016.

22. Сырье для гигиенических изделий: распушенная целлюлоза. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.new-chemistry.ru/printletter.php?n\\_id=6276](https://www.new-chemistry.ru/printletter.php?n_id=6276).
23. Набилков В.Б. Исследование и разработка мельницы для газоструйного диспергирования целлюлозы: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1983. 168 с.
24. Оборудование для производства эковаты [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dispergator.com/eco.htm>.
25. Севостьянов М.В. Ресурсосберегающее оборудование для комплексной переработки техногенных материалов // Вестник БГТУ им. Шухова. 2016. №4. С. 140–145.
26. Хахимов Р.Х., Хахимова Ф.Х., Ковтун Т.Н. Применение аэродинамического диспергатора при подготовке макулатуры для использования в композициях бумаги и картона // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2013. №3. С. 121–128.
27. Дробосюк В.М., Малиновская Г.К. Диспергирование целлюлозных материалов в процессе аэродинамического формования бумаги. Научное издание. СПб, 2015. 72 с.
28. Патент №2549090 (РФ). Диспергатор / В.М. Дробосюк, Г.К. Малиновская, Р.Х. Хахимов. – 2014.
29. Kononov A.V., Paulapuro H. Air Dinamic Forming as an alternative for conventional papermarking // Paperi ja Puu-Paper and Timber. 2004. Vol. 86. N4. Pp. 243–249.
30. Kononov A.V., Paulapuro H., Drobosyuk V.M., Malinovskaya G.K., Terentiev O.A. Air Dinamic Forming as an Alternative to Commercial Papermarking Concepts // Industria della Carta. 2002. Vol. 40. N8. Pp. 37–48.
31. Кларк Дж. Технология целлюлозы (наука о целлюлозной массе и бумаге, подготовка массы, переработка ее на бумагу, методы испытаний). М., 1983. 456 с.
32. Лебедев И.В., Казаков Я.В., Чухчин Д.Г., Романенко К.А. Роль поверхности волокон в развитии бумагообразующих свойств технической целлюлозы в процессе размола // Химия растительного сырья. 2018. №2. С. 207–216. DOI: 10.14258/jcprgm.2018022248.
33. Киселев А.В., Иогансен А.В., Сакодынский К.И., Сахаров В.М., Яшин Я.И., Карнаухов А.П., Буянова Н.Е., Куркчи Г.А. Физико-химическое применение газовой хроматографии. М., 1973. 256 с.
34. Дробосюк В.М., Малиновская Г.К., Литвинова Л.В. Аэродинамическое формование бумаги санитарно-гигиенического назначения // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2015. №1. С. 126–132. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.1.126.

*Поступила в редакцию 23 ноября 2021 г.*

*После переработки 7 апреля 2023 г.*

*Принята к публикации 8 апреля 2023 г.*

**Для цитирования:** Малиновская Г.К., Смирнова Е.Г. Диспергирование целлюлозных материалов аэродинамическим способом // Химия растительного сырья. 2023. №3. С. 329–336. DOI: 10.14258/jcprgm.20230310602.

*Malinovskaya G.K.\* , Smirnova Ye.G. DISPERSION OF CELLULOSIC MATERIALS BY AERODYNAMIC METHOD  
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Higher School of Technology and Energy, Ivana Chernykh st., 4, St. Petersburg, 198092 (Russia), e-mail: m-gk@mail.ru*

The dissolution of primary and secondary cellulose semi-finished products in order to obtain a fluff fibrous product is becoming increasingly important due to the growth of its use in various industries. The existing equipment dissolves the dried semi-finished product, while the cellulose fibers partially lose their paper-forming properties. In the technology of aerodynamic forming of paper, a wet cellulose semi-finished product is dispersed, which preserves the ability of fibers to bond formation and excludes their mechanical destruction.

Fluff pulp was obtained by dispersing dry and wet cellulose semi-finished product on a laboratory installation for aerodynamic molding. The comparison of the properties of fibers by the value of their specific surface area and the ability to form paper with the strength characteristics required for operation is carried out. The breaking force value of paper formed from wet fibers is 4 times higher than that of paper from dry fibers.

The possibility of using fluff pulp in the manufacture of multilayer paper for sanitary – hygienic purposes, which meets the requirements of GOST Ru 52354-2005 group B in terms of the values of the destructive force, is shown.

The aerodynamic paper disperser can be used as an alternative equipment for separating cellulosic materials while screening the fibers.

*Keywords:* cellulose fluff, paper aerodynamic forming, dispersant, fiber specific surface, multilayer paper.

---

\* Corresponding author.

## References

1. Dmitriyev M.D., Bondarenko M.V. Nauchnyye trudy TsNIIB. [Scientific works of CRIP]. Moscow; Leningrad, 1956, no. 41, pp. 22–26. (in Russ.).
2. Morozov I.M., Yakimov V.A., Chistova N.G., Alashkevich Yu.D., Zyryanov M.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2015, no. 4, pp. 119–124. DOI: 10.14258/jcprm.201504852. (in Russ.).
3. Patent 690104 (USSR). 1979. (in Russ.).
4. Patent 1334789 (USSR). 1984. (in Russ.).
5. Patent 1586295 (RU). (in Russ.).
6. Patent 2100508 (RU). 1997. (in Russ.).
7. Patent 2671141 (RU). 2018. (in Russ.).
8. Chistova N.G. *Pererabotka drevesnykh otkhodov v tekhnologicheskom protsesse polucheniya drevesnovoloknistykh plit: dis. ... dokt. tekhn. nauk.* [Processing of wood waste in the technological process of producing fiberboards: dis. ... doc. tech. Sci]. Krasnoyarsk, 2010, 415 p. (in Russ.).
9. Chistova N.G., Matyugulina V.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 475–484. DOI: 10.14258/jcprm.2020048188. (in Russ.).
10. Akulov B.V., Khakimova F.Kh., Kovtun T.N., Khakimov R.Kh. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2010, no. 3, pp. 167–172. (in Russ.).
11. Alashkevich Yu.D., Pen R.Z., Karetnikova N.V., Chendylova L.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 4, pp. 399–405. DOI: 10.14258/jcprm.2019045486. (in Russ.).
12. Drobosyuk V.M. *Tekhnologiya izgotovleniya bumagi aerodinamicheskim sposobom. Nauchnoye izdaniye.* [Aerodynamic paper manufacturing technology. Scientific publication]. St. Petersburg, 2011, 55 p. (in Russ.).
13. Lychenko A.A. *Primeneniye sukhogo dispergirovaniya otkhodov proizvodstva bumagi i bumazhnoy produktsii v protsesse massopodgotovki: diss. ... kand. tekhn. nauk.* [Application of dry dispersion of paper production waste and paper products in the process of mass preparation: diss. ... cand. tech. sciences]. St. Petersburg, 2016, 115 p. (in Russ.).
14. Midukov N.P., Efremkina P.A., Malinovskaya G.K., Kurov V.S., Smolin A.S. *Fibre Chemistry*, 2017, vol. 49, no. 1, pp. 21–23. DOI: 10.1007/s10692-017-9833-7.
15. Midukov N.P., Yefremov D.S., Kurov V.S., Smolin A.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 279–286. DOI: 10.14258/jcprm.2018033698. (in Russ.).
16. Patent 2583362 (RU). 2016. (in Russ.).
17. Schreinner T., Grossmann H., Midukov N.P., Kurov V.S., Smolin A.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 251–260. DOI: 10.14258/jcprm.2020046956. (in Russ.).
18. Schreinner T., Gailat T., Grossmann H. *TAPPI Paper Conference Proceedings*. Atlanta, Georgia, USA, 2015.
19. Schreinner T., Gailat T., Heinemann S., Lundberg M. *PTS Pulp Symposium*. München, 2015.
20. Schreinner T., Gailat T., Grossmann H., Malinovskaya G. *Professional Papermaking*, 2016, no. 2, pp. 36–42.
21. Patent 2641136 (RU). 2016. (in Russ.).
22. *Syr'ye dlya gigiyenicheskikh izdeliy: raspushennaya tsellyuloza.* [Gigiena vositalari uchun xom ashyo: paxmoq pulpa]. URL: [https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n\\_id=6276](https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=6276). (in Russ.).
23. Nabilkov V.B. *Issledovaniye i razrabotka mel'nitsy dlya gazostruynogo dispergirovaniya tsellyulozy: dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Research and development of a mill for gas-jet dispersion of cellulose: diss. ... cand. tech. Sci]. Leningrad, 1983, 168 p. (in Russ.).
24. *Oborudovaniye dlya proizvodstva ekovaty* [Ecowool ishlab chiqarish uchun uskunalari]. URL: <http://www.dispergator.com/eco.htm>. (in Russ.).
25. Sevost'yanov M.V. *Vestnik BGTU im. Shukhova*, 2016, no. 4, pp. 140–145. (in Russ.).
26. Khakimov R.Kh., Khakimova F.Kh., Kovtun T.N. *Izvestiya VUZov. Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 3, pp. 121–128. (in Russ.).
27. Drobosyuk V.M., Malinovskaya G.K. *Dispergirovaniye tsellyuloznykh materialov v protsesse aerodinamicheskogo formovaniya bumagi. Nauchnoye izdaniye.* [Dispersion of cellulosic materials in the process of air-jet paper forming. Scientific publication]. St. Petersburg, 2015, 72 p. (in Russ.).
28. Patent 2549090 (RU). 2014. (in Russ.).
29. Kononov A.V., Paulapuro H. *Paperi ja Puu-Paper and Timber*, 2004, vol. 86, no. 4, pp. 243–249.
30. Kononov A.V., Paulapuro H., Drobosyuk V.M., Malinovskaya G.K., Terentiev O.A. *Industria della Carta*, 2002, vol. 40, no. 8, pp. 37–48.
31. Clark J. *Tekhnologiya tsellyulozy (nauka o tsellyuloznoy masse i bumage, podgotovka massy, pererabotka yeye na bumagu, metody ispytaniy).* [Cellulose technology (the science of pulp and paper, pulp preparation, processing it into paper, test methods)]. Moscow, 1983, 456 p. (in Russ.).
32. Lebedev I.V., Kazakov Ya.V., Chukhchin D.G., Romanenko K.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 2, pp. 207–216. DOI: 10.14258/jcprm.2018022248. (in Russ.).
33. Kiselev A.V., Iogansen A.V., Sakodynskiy K.I., Sakharov V.M., Yashin YA.I., Karnaukhov A.P., Buyanova N.Ye., Kurkchi G.A. *Fiziko-khimicheskoye primeneniye gazovoy khromatografii.* [Physico-chemical applications of gas chromatography]. Moscow, 1973, 256 p. (in Russ.).
34. Drobosyuk B.M., Malinovskaya G.K., Litvinova L.V. *Izvestiya VUZov. Lesnoy zhurnal*, 2015, no. 1, pp. 126–132. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.1.126. (in Russ.).

Received November 23, 2021

Revised April 7, 2023

Accepted April 8, 2023

**For citing:** Malinovskaya G.K., Smirnova Ye.G. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 3, pp. 329–336. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230310602.