

УДК 676.15

А. О. Новиков, аспирант (БГТУ); **В. И. Темрук**, кандидат технических наук, генеральный директор (УП «Бумажная фабрика Гознака», г. Борисов);
Т. В. Соловьева, доктор технических наук, профессор (БГТУ);
В. В. Горжанов, кандидат технических наук, научный сотрудник (БГТУ);
А. А. Дубовик, аспирант (БГТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗМАЛЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И БУМАГООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ ХЛОПКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Проведены лабораторные исследования по определению размалывающей способности в дисковых мельницах и бумагообразующих свойств волокон хлопковой целлюлозы. Определены параметры гидросуспензий хлопковой целлюлозы, полученных при различных параметрах размола, а также фракционный состав по волокну. Это дало возможность установить параметры размола, позволяющие осуществлять одновременно с укорочением и интенсивное фибриллирование волокон хлопковой целлюлозы. Определена зависимость свойств бумаги, получаемой из хлопковой целлюлозы, от параметров ее гидросуспензий.

Laboratory studies to determine the grinding abilities in a disk mill and paper-forming properties fibers of cotton cellulose have been met. Parameters hydrosuspension cotton cellulose obtained at different milling parameters, as well as fractional composition of the fibers were determined. It is allowed to establish milling parameters, allowing carry out simultaneous with the shortening fibers of cotton cellulose their intense fibrillation. Dependence of the properties of paper from parameters hydrosuspension has been determined.

Введение. Хлопковая целлюлоза входит в композицию многих видов бумаги: ее применяют для бумаги, к которой предъявляются повышенные требования к сохранности, чертежной, картографической, основы фотокопирования, бумаги для хроматографического и электрофоретического анализа и др.

Хлопковая целлюлоза по своему строению и свойствам существенно отличается от целлюлозы из древесины. Она, самая прочная и чистая среди природных волокон, состоит из альфа-целлюлозы более чем на 90%. Повышенная кристалличность, а также нативные особенности хлопка затрудняют его фибриллирование при размоле [1]. В то время как у древесной целлюлозы пучки фибрилл параллельны оси волокна и окружены гемицеллюлозными и лигнинными компонентами, облегчающими их разделение, у хлопкового волокна фибриллы расположены под углом 45° к оси волокна [2]. Поэтому у хлопковой целлюлозы при размоле происходит преимущественно укорочение волокна, а не его фибриллирование.

Это обусловило цель работы – исследовать способность хлопковой целлюлозы к размолу и оценить ее бумагообразующие свойства. Исследовали две хлопковые целлюлозы, представляющие собой отходы, образующиеся на разных стадиях сортировки хлопка: хлопковый очес марки 150 Ферганского химического завода фурановых соединений и хлопковый линт CS-21DHS фирмы CELSUR COTTON LINTERS PULP (Испания).

Основная часть. Роспуск целлюлозы проводили в гидроразбивателе лабораторного размалывающего комплекта ЛКР-1 (производства

ООО «Рессбертех») в течение 15 мин при концентрации 3%, позволяющей получить устойчивую водную дисперсию. Волокна обеих марок целлюлозы имеют значительную длину, что не позволяет размалывать их до конечных параметров при одинаковом режиме размола и вызывает затруднения в работе мельницы, входящей в комплект ЛКР-1, которая оснащена частотным приводом. Предварительные исследования показали [3], что размол дисперсии таких волокон на дисковой мельнице невозможно осуществить при межножевом зазоре менее 0,6 мм – происходила остановка двигателя. Это обусловило проведение двухступенчатого размола. При этом на первой стадии необходимо было снизить длину волокон целлюлозы до уровня, при котором обеспечивается бесперебойная работа дисковой мельницы при значениях межножевого зазора менее 0,6 мм. На второй стадии требовалось получить массу с параметрами, необходимыми для получения бумаги.

Первую, подготовительную, стадию размола осуществляли при межножевом зазоре 0,6 мм и номинальной частоте вращения ротора двигателя мельницы 1450 мин^{-1} . Каждые 5 мин размола уменьшали межножевой зазор до значения 0,1 мм или полной остановки ротора двигателя мельницы. При его остановке выставляли межножевой зазор на прежнее значение 0,6 мм и продолжали размол. В результате было установлено, что массу из хлопковой целлюлозы необходимо размалывать в течение 15 мин для обеспечения бесперебойной работы мельницы в диапазоне значений межножевого зазора от 0,1 до 0,6 мм.

Таблица 1

Характеристики массы хлопковой целлюлозы на стадиях подготовки

Стадии подготовки хлопковой целлюлозы	Характеристики массы			Расход электроэнергии на размол 100 г целлюлозы, Вт·ч
	Степень помола, °ШР	Средневзвешенная длина волокна, дг	Скорость обезвоживания, мл/с	
Хлопковый линт CELSUR COTTON LINTERS PULP (испанская)				
Роспуск	18	126	152,8	–
Первая стадия размола	20	105	85,3	0,108
Хлопок марки 150 Ферганского химического завода фурановых соединений (узбекская)				
Роспуск	16	124	130,4	–
Первая стадия размола	24	97	63,3	0,132

Параметры массы после роспуска и подготовки (первой стадии размола) представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, в процессе подготовки происходит преимущественно укорочение волокон хлопковой целлюлозы без существенного их фибриллирования. При этом уже на стадии подготовки удается значительно снизить скорость обезвоживания бумажной массы из хлопковой целлюлозы – с 152,8 до 85,3 мл/с для хлопковой целлюлозы фирмы CELSUR COTTON LINTERS PULP и с 130,4 до 63,3 мл/с для хлопковой целлюлозы Ферганского химического завода фурановых соединений. На второй стадии определяли размалывающую способность хлопковой целлюлозы. В качестве активного фактора размола использовали величину межножевого зазора, который варьировали от 0,2 до 0,6 мм с шагом 0,1 мм. Частота вращения дисков мельницы составляла 1450 мин⁻¹, время размола 20 мин.

Чтобы судить наиболее полно о процессе размола бумажной массы, необходимо контролировать не только степень помола, но и длину целлюлозных волокон. Соотношение в изменении этих двух показателей, названное коэффициентом ужирнения K , позволяет судить о направлении процесса размола: идет ли он в сторону гидратации (ужирнения) или в направлении механического укорочения волокон. Этот коэффициент определяется как отношение прироста степени помола Δg (°ШР) к укорочению волокон Δl , выраженному в процентах от их исходной длины:

$$K = \Delta g / \Delta l.$$

Если $K < 1,1$, то помол можно назвать садким, т. е. когда размол идет преимущественно в направлении процесса укорочения волокон целлюлозы, при $K = 1,1-1,3$ помол принято считать средним (происходит в равной степени как укорочение волокон целлюлозы, так и их гидратация), и если $K > 1,3$ – помол жирный, т. е. размол идет преимущественно в сторону гидратации волокон целлюлозы [5].

При проведении эксперимента контролировали следующие показатели бумажной массы: степень помола, средневзвешенную длину волокна, скорость обезвоживания, количество затраченной электроэнергии на размол целлюлозы и фракционный состав по волокну.

Характеристики бумажной массы, полученной при размоле хлопковой целлюлозы, представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, увеличение межножевого зазора приводит к снижению степени помола целлюлозы и увеличению средневзвешенной длины волокна, скорости обезвоживания. При всех значениях межножевого зазора размол идет в направлении укорочения волокна, о чем свидетельствует коэффициент ужирнения массы. При этом для испанской целлюлозы с уменьшением межножевого зазора происходит рост значений коэффициента с 0,22 до 0,89, что говорит о повышении фибриллирующего действия гарнитуры мельницы. Для узбекской целлюлозы наблюдается, наоборот, снижение коэффициента ужирнения при уменьшении межножевого зазора, что свидетельствует о повышении рубящего действия гарнитуры.

О направлении процесса размола можно судить также и по удельному расходу энергии на фибриллирование и на рубку волокон целлюлозы: чем меньше значение удельного расхода энергии, тем более интенсивно идет процесс. Для целлюлозы производства CELSUR COTTON LINTERS PULP при увеличении межножевого зазора происходит повышение удельного расхода энергии и на фибриллирование, и на укорочение. При межножевом зазоре 0,2 мм значения Y_{ϕ} и Y_v практически равны – 0,029 Вт·ч/°ШР·г и 0,025 Вт·ч/дг·г соответственно. Это позволяет допустить, что при таком зазоре происходит в равной степени как фибриллирование, так и укорочение волокон. При увеличении межножевого зазора значения удельного расхода на фибриллирование волокон уже превышают значения удельного расхода на укорочение, что говорит о более выраженном рубящем действии гарнитуры мельницы.

Таблица 2

Характеристика массы и удельного расхода затраченной на размол энергии в зависимости от величины межножевого зазора

Величина межножевого зазора, мм	Характеристика массы			Расход электроэнергии на размол 100 г целлюлозы, кВт·ч	Удельный расход электроэнергии на фибриллирование $U_{\text{ф}}$, Вт·ч/°ШР·г	Удельный расход электроэнергии на укорочение волокон $U_{\text{у}}$, Вт·ч/дг·г	Коэффициент ужирнения K , °ШР/%
	Степень помола, °ШР	Средне-взвешенная длина волокна, дг	Скорость обезвоживания, мл/с				
Хлопковый линт CELSUR COTTON LINTERS PULP (испанская)							
0,2	75	40	2,19	0,120	0,029	0,025	0,89
0,3	69	37	3,18	0,139	0,038	0,027	0,76
0,4	58	51	5,00	0,139	0,049	0,034	0,74
0,5	50	61	8,14	0,152	0,068	0,047	0,72
0,6	28	67	23,89	0,115	0,192	0,041	0,22
Хлопок марки 150 Ферганского химического завода фурановых соединений (узбекская)							
0,2	77	26	2,80	0,159	0,040	0,030	0,72
0,3	70	35	3,16	0,158	0,046	0,034	0,72
0,4	65	43	3,68	0,158	0,051	0,039	0,74
0,5	52	69	6,43	0,120	0,057	0,057	0,97
0,6	44	93	10,00	0,101	0,067	0,337	4,85

Для целлюлозы производства Ферганского химического завода фурановых соединений интенсивность фибриллирования и рубки одинакова при зазоре 0,5 мм – значения $U_{\text{ф}}$ и $U_{\text{у}}$ равны и составляют 0,057 Вт·ч/°ШР·г и 0,057 Вт·ч/дг·г соответственно.

Результаты определения фракционного состава хлопковой целлюлозы производства CELSUR COTTON LINTERS PULP и Ферганского химического завода фурановых соединений после каждого из режимов размола, отличающихся величиной межножевого зазора представлены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что при изменении межножевого зазора существенно изменяется фракционный состав волокна. Так, увеличение зазора приводит к росту первой, длиноволокнистой, фракции и снижению количества мелочи, содержащейся в пятой фракции. Содержание фракций $F3$ и $F4$ практически не меняется в диапазоне значений межножевого зазора 0,2–0,4 мм. В этом же диапазоне с уменьшением первой фракции происходит увеличение содержания фракций $F2$ и $F5$.

Таблица 3

Фракционный состав хлопковой целлюлозы в зависимости от величины межножевого зазора

Величина межножевого зазора, мм	Количество волокна по фракциям, % (остаток на сите с размерами ячеек, мм)				
	$F1$ (1,19)	$F2$ (0,59)	$F3$ (0,29)	$F4$ (0,14)	$F5^*$
Хлопковый линт CELSUR COTTON LINTERS PULP (испанская)					
0,2	14,52	24,16	25,82	16,68	16,81
0,3	17,97	23,40	25,38	16,62	16,64
0,4	35,63	16,18	20,60	10,98	16,62
0,5	62,03	11,46	13,13	8,74	4,65
0,6	77,28	6,38	8,39	5,50	2,46
Хлопок марки 150 Ферганского химического завода фурановых соединений (узбекская)					
0,2	0,38	41,60	22,15	21,39	14,48
0,3	15,07	32,34	22,06	19,80	10,73
0,4	28,75	22,80	21,50	19,17	7,78
0,5	46,85	16,82	15,76	12,54	8,03
0,6	63,03	10,85	9,76	7,84	8,53

*Пятая фракция определялась по разнице: $100 - \sum F_i$.

Таблица 4

Показатели качества бумаги в зависимости от параметров размола

Величина межножевого зазора при размоле, мм	Показатели качества бумаги						
	Число двойных перегибов	Усилие при разрыве, Н	Разрывная длина, км	Удлинение до разрыва, %	Поглощение энергии при разрыве, Дж/м ²	Модуль Юнга образца, ГПа	Жесткость при разрыве, кН/м
Хлопковый линт CELSUR COTTON LINTERS PULP (испанская)							
0,2	101	50,64	4,3	2,2	56,98	3,77	512,1
0,3	111	43,88	3,6	2,5	56,19	3,13	396,6
0,4	68	38,08	3,2	2,4	47,54	2,79	371,3
0,5	68	38,66	3,2	3,0	57,77	1,93	309,9
0,6	11	19,82	1,6	2,3	23,16	1,50	173,2
Хлопок марки 150 Ферганского химического завода фурановых соединений (узбекская)							
0,2	353	56,37	4,7	2,3	67,98	4,69	539,9
0,3	301	52,48	4,2	2,3	63,26	3,89	487,6
0,4	242	46,24	3,9	2,4	55,63	3,18	409,8
0,5	139	39,58	3,3	2,5	47,81	2,56	367,5
0,6	92	34,05	2,8	2,6	43,06	1,65	248,8

Стоит отметить, что испанская целлюлоза более устойчива к механическим воздействиям при размоле. Об этом свидетельствует менее интенсивное снижение средневзвешенной длины волокна и более высокое содержание длинноволокнистой фракции после размола при сопоставимых степенях помола. В то же время испанская целлюлоза в диапазоне значений межножевого зазора 0,2–0,4 мм содержит большее количество нежелательной фракции *F5* – 16%, по сравнению с узбекской, которая содержит этой же фракции в среднем 10%.

Из полученной размолотой массы в лабораторных условиях были изготовлены и испытаны образцы бумаги с массой одного метра квадратного 80 г. Изготовление образцов бумаги проводили на листоотливном аппарате системы «Rapid-Ketten». Полученные образцы бумаги подвергали кондиционированию в стандартных условиях по ГОСТ 13523–78. Определяли их плотность, толщину по ГОСТ 27015–86, влажность по ГОСТ 13525.19–91, массу одного метра квадратного образцов по ГОСТ 13199–88.

Испытывали образцы на показатели разрывной длины по ГОСТ ИСО 1924-1–96 и сопротивления излому по ГОСТ ИСО 5626–97. Свойства бумаги представлены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, показатели прочности бумаги при ее испытаниях на растяжение возрастают с уменьшением межножевого зазора при размоле.

Изменение числа двойных перегибов происходит по-разному в зависимости от марки

используемой целлюлозы. Так, для испанской целлюлозы число двойных перегибов возрастает с уменьшением межножевого зазора и достигает максимума – 111 д. п. при 0,3 мм, и далее снижается до 101 д. п. при зазоре 0,2 мм, что позволяет предположить о преобладании процесса упрочнения за счет увеличения межволоконных сил связи над снижением прочности при укорочении до величины межножевого зазора 0,3 мм.

При 0,2 мм потеря прочности за счет укорочения превалирует и происходит снижение числа двойных перегибов. Для узбекской целлюлозы наблюдается рост этого показателя без экстремумов с 92 д. п. при 0,6 мм до 353 д. п. при 0,2 мм. При этом механические показатели при сопоставимых степенях помола для узбекской целлюлозы значительно выше, чем для испанской. Так, при межножевом зазоре 0,3 мм число двойных перегибов составляет 111 для испанской целлюлозы и 301 для узбекской, разрывная длина – 3,6 и 4,2 км соответственно.

Сравнивая табл. 3 и 4, можно заметить, что разрывная длина и сопротивление излому изменяется в зависимости от содержания фракции *F2* – эти показатели повышаются с ее увеличением при неизменном содержании фракций *F3–F5* – для испанской целлюлозы. Такая же зависимость наблюдается и для узбекской целлюлозы. При этом максимальные значения прочностных показателей достигаются при отсутствии фракции *F1*. Это можно объяснить тем, что длинные волокна первой фракции хлопковой целлюлозы плохо разработаны и

при формировании бумаги ухудшают структуру листа.

Заключение. Из полученных результатов следует:

– практически при всех режимах размол хлопковой целлюлозы идет преимущественно в сторону укорочения волокон;

– для достижения фибриллирующего действия размалывающей гарнитуры необходимо при использовании испанского хлопкового линта уменьшать величину межножевого зазора, а при использовании узбекской хлопковой целлюлозы, наоборот, увеличивать;

– наибольшей прочностью на излом и на разрыв обладает бумага, изготовленная из хлопковой целлюлозы с большим содержанием хорошо разработанных волокон фракций F_2 и F_3 .

Литература

1. Миркамилов, Ш. М. Зависимость надмолекулярной структуры целлюлозы из стеблей хлопчатника от технологических процессов ее получения / Ш. М. Миркамилов, М. С. Тиллашайхов // Химия природных соединений. – 1996. – № 6. – С. 928–931.

2. Роговин, З. А. Химия целлюлозы / З. А. Роговин. – М.: Химия, 1972. – 520 с.

3. Разработать и внедрить технологию бумаги документной марок Д-2 и Д-3, рассчитанной на длительный срок пользования: отчет о НИР (заключ.) / Белорус. гос. технол. ун-т; рук. темы Т. В. Соловьева. – Минск, 2009. – 14 с. – № ГР 20090757.

Поступила 21.03.2012