

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. с. 368364 (СССР). Способ получения целлюлозы / Г. С. Косая, М. А. Прокопьева // Открытия. Изобретения.— 1973.— № 9.— С. 113. [2]. А. с. 1030207 (СССР). Способ получения волокнистой массы для изготовления древесноволокнистых плит / В. М. Резников, Т. В. Сухая, В. Б. Желтиков и др. // Открытия. Изобретения.— 1983.— № 29.— С. 102. [3]. Зильберглейт М. А. Исследование процесса окислительной делигнификации древесины водными растворами органических надкислот: Автореф. дис... канд. хим. наук.— Рига, 1982.— С. 21. [4]. Никитин В. М. Об активации лигнина кислотами // Химия древесины.— Рига.— 1968.— № 2.— С. 61—65. [5]. Никитин В. М., Скачков В. М. О делигнификации осиновой древесины перекисью водорода // Химия древесины.— Рига.— 1968.— № 2.— С. 43—45. [6]. Практические работы по химии древесины и целлюлозы / А. В. Оболенская, В. П. Щеголев, Э. Л. Аким и др.— М.: Лесн. пром-сть, 1965.— С. 156—157. [7]. Сарканис К. В., Людвиг К. К. Лигнины.— М.: Лесн. пром-сть, 1975.— С. 354—361. [8]. Сухая Т. В. Повышение качества древесноволокнистых плит легким гидролизом древесноволокнистой массы // Лесн. журн.— 1988.— № 3.— С. 80—84. (Изв. высш. учеб. заведений). [9]. Logas V., Sofeland N. Pates de-fibreis micaniquiment etude de la delignification oxydante // Rev. ATIP.— 1981.— 35, N 3.— С. 121—127. [10]. Poljak A. Holzaufschluss mit Peressigsäure. 2. Cellulosebestimmung mit Peressigsäure / Holzforschung.— 1951.— Bd. 5, N 2.— С. 31—33. [11]. Samuelsson L., Moberg P. J., Havtles N. Influence of some chemical and radiative treatments on the strength versus energy relationship in mechanical pulping / Svensk Papperstidn och Sven. pappersförädlingsstskr.— 1981.— 84, N 15.— P. 110—115.

Поступила 10 сентября 1987 г.

УДК 676.222 : 676.223.

## ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНЫХ ВОЛОКОН В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ МАССЫ

Г. И. ЧИЖОВ, Е. П. ЕЛКИНА, С. С. ПУЗЫРЕВ,  
Е. В. ЗАПОРОЖЕЦ, В. И. КОМАРОВ

Ленинградская лесотехническая академия  
Архангельский лесотехнический институт

Древесная масса представляет собой продукт механической переработки древесины, поэтому, в отличие от целлюлозы, ее волокна содержат практически все компоненты исходной древесины и характеризуются повышенной жесткостью и хрупкостью. По сравнению с целлюлозой фракционный состав древесной массы более изменчив и оказывает значительное влияние на ее бумагообразующие свойства и показатели качества бумаги [1]. Качество древесной массы определяется большим числом переменных технологических факторов, поэтому для направленного воздействия на конечный продукт необходимо знать, как изменяются свойства на отдельных стадиях технологического процесса.

В настоящей работе объектом исследования был выбран технологический поток производства термомеханической массы (ТММ) на Сыктывкарском ЛПК. Образцы для анализа отбирали в пяти точках: после I и II ступеней размола, сортированную массу после сортировок и после дополнительного размола, а также переработанные отходы сортирования. Образцы массы фракционировали на аппарате ФДМ. Первую фракцию отбирали с сетки № 16, вторую — с № 24, третью — с № 40, четвертую — с сетки № 48. Перед фракционированием ТММ производили снятие латентности.

Данные об изменении фракционного состава массы по пяти точкам технологического потока ТММ представлены в табл. I. Исследования показали изменения в соотношении I и II фракций.

Из полученных результатов следует, что интенсивность воздействия технологического процесса на содержание в массе той или иной фракции снижается по мере уменьшения длины волокон. Содержание первой фракции снижается на 15 %, второй и третьей возрастает на 8 и 3,8 % соответственно, четвертой — практически не меняется.

Достоинства и недостатки ТММ как волокнистого полуфабриката для производства бумаги во многом связаны именно с высоким содер-

Таблица 1

№ п/п	Место отбора	Средне-взвешенная длина волокна, мм Нефракционированная масса, %	Выход по фракциям, %				Остаток в сток, %
			I	II	III	IV	
1	После I ступени размола	$\frac{2,3}{100}$	$\frac{2,5}{60}$	$\frac{1,4}{12}$	$\frac{1,3}{3}$	$\frac{0,5}{6}$	19,0
2	После II ступени размола	$\frac{1,8}{100}$	$\frac{2,2}{57}$	$\frac{1,3}{10}$	$\frac{1,12}{4,5}$	$\frac{0,4}{9}$	19,5
3	Сортированная масса	$\frac{1,7}{100}$	$\frac{1,85}{47}$	$\frac{1,23}{27}$	$\frac{0,9}{3,6}$	$\frac{0,4}{5,2}$	17,2
4	Сортированная масса после дополнительного размола	$\frac{1,5}{100}$	$\frac{1,77}{44,8}$	$\frac{1,23}{20}$	$\frac{0,6}{6,8}$	$\frac{0,3}{6,8}$	11,6
5	Отходы сортирования после размола	$\frac{1,43}{100}$	$\frac{1,9}{50}$	$\frac{1,5}{14,5}$	$\frac{0,5}{4,2}$	$\frac{0,4}{7,1}$	24,2

жанием первой фракции, что в ряде случаев нежелательно. Характерно, что в процессе II ступени размола содержание I фракции снижается очень незначительно — всего на 3 %, в то время как при прохождении через сортировки оно уменьшается на 10 %. Отсюда следует, что наиболее эффективное средство регулирования количества длинноволокнистой фракции — выбор соответствующего оборудования и технологического режима.

Увеличение доли отходов сортирования позволит снизить содержание грубой длинноволокнистой фракции, а химическая обработка и последующий размол отходов сортирования, рекомендуемые в работе [4], позволят дополнительно улучшить бумагообразующие свойства ТММ.

Содержание мельчайшего волокна, не задерживающегося на сетке № 48, практически достигает максимального уже после I ступени размола. После II ступени размола оно увеличивается всего на 0,5 %. По мере прохождения массы по технологическому потоку содержание мельштофа снижается (в сумме на 7,4 %). Очевидно, некоторая часть потерь происходит в процессе отбелики, но в основном они обусловлены потерями с оборотной водой. Ранее проведенные исследования [1] показали, что мельштоф оказывает положительное влияние на комплекс свойств ТММ. Поэтому для уменьшения его потерь следует стремиться к максимальному использованию оборотной воды. Интересно, что в размолотых отходах сортирования содержание мельчайшего волокна в 2 раза выше, чем в конечной ТММ, и, следовательно, варьирование количества отходов позволяет регулировать не только количество I фракции, но и мельчайшего волокна.

В древесине, в зависимости от породы, содержится от 18 до 28 % лигнина. Известно, что в процессе размола лигнин претерпевает определенные химические изменения [3]. Так, например, с ростом интенсивности размола в выделенном лигнине понижается содержание метоксильных групп. Установлено, что при размоле с доступом воздуха происходит частичное окисление лигнина. Вполне вероятно, что в процессе размола лигнин, подобно целлюлозе, подвергается частичной депolyризации, что также должно отразиться на химическом составе волокон. В литературе мы не обнаружили данных об изменениях в химическом составе волокон ТММ на разных стадиях технологического потока и сведений о различиях в химическом составе разных фракций.

В табл. 2 представлены данные об изменении химического состава волокон ТММ в процессе производства.

Таблица 2

№ п/п	Место отбора образца	Содержание, %		
		лигнин	целлюлозы	карбоксильных групп
1	I ступень размола	27,48	50,55	0,15
	I фракция	26,71	59,39	0,10
	II >	26,86	57,28	0,22
	III >	27,68	57,93	0,27
	IV >	27,03	57,8	—
2	II ступень размола	26,76	50,5	0,26
	I фракция	25,92	55,28	0,10
	II >	26,56	56,74	0,17
	III >	—	—	0,39
	IV >	29,96	50,3	0,3
3	Сортированная масса	26,51	48,1	0,53
	I фракция	25,73	61,74	0,46
	II >	26,80	60,4	0,58
	III >	27,39	58,42	0,86
	IV >	30,67	51,4	0,4

Из результатов табл. 2 следует, что изменения, которые претерпевает химический состав волокон ТММ и ее отдельных фракций, незначительны, но определенные тенденции прослеживаются достаточно четко. Во-первых, прохождение массы по технологическому потоку сопровождается, в целом, некоторым уменьшением содержания целлюлозы в волокнах, что связано, очевидно, с потерей части целлюлозного вещества с мельшотфом. Во-вторых, по мере продвижения массы по технологическому потоку возрастает разница в содержании целлюлозы в I и IV фракциях. После I ступени размола она составляет 1,59 %, после второй ступени — 4,98 %, а у конечной сортированной массы — 10,34 %.

Следовательно, при движении массы по технологическому потоку происходит не только простое механическое укорочение волокон, но и определенное перераспределение двух основных компонентов древесины — целлюлозы и лигнина — между фракциями. Длинноволокнистые фракции теряют часть морфологических элементов волокна, богатых лигнином, а коротковолокнистые ими обогащаются. Представленные в табл. 2 данные по содержанию лигнина подтверждают этот вывод.

Содержание карбоксильных групп в волокнах ТММ увеличивается по ходу технологического потока более чем в 3 раза, что связано с частичным окислением целлюлозы кислородом воздуха и во время отбеливания пероксидом водорода. Бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов во многом, а может быть и в основном, определяются величиной и состоянием поверхности волокон.

Для характеристики поверхности волокон ТММ в описываемых экспериментах были использованы показатели водоудержания, определявшегося по методу Г. Джайме, а также полной и внешней удельной поверхности, определявшейся методом ядерно-магнитного резонанса при влажности 37 % [2].

Данные об изменении бумагообразующих свойств волокон ТММ по фракциям представлены в табл. 3.

Показатели, использованные для характеристики поверхности волокон ТММ, должны подчиняться закону аддитивности, т. е. величина какого-либо показателя у нефракционированной массы должна быть равна сумме величин этого же показателя у каждой фракции, помноженного на массную долю соответствующей фракции. Исходя из этого,

Таблица 3

Сортированная ТММ	Водо-удержание, %	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	
		полная	внешняя
Нефракционированная	237	394,8	6,9
I фракция	210	265,5	2,1
II »	216	316,0	2,3
III »	221	533,4	2,4
IV »	235	540,3	2,95

были рассчитаны показатели для волокон самой мелкой фракции, уходящей с промывными водами: водоудержание — 594 %; полная удельная поверхность — 1204 м<sup>2</sup>/г; внешняя удельная поверхность — 44,3 м<sup>2</sup>/г.

Сравнение экспериментально полученных и рассчитанных величин с соответствующими величинами тех же показателей для других волокнистых материалов показывает, что ТММ характеризуется очень развитой поверхностью [1]. Это подтверждает мнение, что разделение волокон при термомеханическом способе производства древесной массы происходит преимущественно по границе первичного и вторичного слоев клеточной стенки, а не срединной межклеточной пластинки, как это имеет место при дефибрерном или рафинерном способе.

По мере уменьшения длины волокон все исследованные показатели возрастают, но не пропорционально: у волокон фракции, проходящей через сетку № 48, водоудержание в сравнении с I фракцией увеличивается в 2,5 раза, полная удельная поверхность — в 3 раза, а внешняя удельная поверхность — в 21 раз.

В целом данные табл. 3 подтверждают сделанный ранее вывод о необходимости контроля за содержанием в готовой массе длиноволокнистой грубой I фракции и о положительном влиянии на бумагообразующие свойства ТММ мельчайшего волокна.

Прочность бумаги определяется прочностью связей между волокнами, прочностью и характером их взаимного расположения, т. е. структурой самих волокон. Бумага будет иметь повышенную прочность, когда предлагаемая нагрузка равномерно распределяется на все элементы структуры, для чего образующие ее волокна должны быть длинными и гибкими, обеспечивающими возможность перераспределения напряжения в бумаге в процессе ее нагружения.

Прочность бумаги чаще всего определяют путем измерения разрывного груза при приложении одноосной растягивающей нагрузки. Однако при практическом применении бумага подвергается меньшей нагрузке, чем величина ее разрывного груза, поэтому получить представление о поведении бумаги до разрыва более важно, чем просто регламентировать ее сопротивление разрыву.

Бумага — полидисперсный композиционный материал, поэтому ее деформационные свойства во многом определяются деформационными свойствами образующих фракций волокон.

Результаты опытов по использованию этой взаимосвязи применительно к ТММ представлены в табл. 4.

При приложении растягивающей нагрузки в капиллярно-пористом волокнистом материале типа целлюлозы или бумаги наблюдается несколько стадий развития деформации, предшествующей окончательному разрушению: упругая деформация, вынужденно-эластичная деформация и дополнительная вытяжка, происходящая в условиях быстрого нарастания необратимых процессов микроразрушения структуры и заканчивающаяся разрушением образца [5].

Таблица 4

## Деформационные свойства образцов ТММ

№ п/п	Место отбора образца	Модуль упругости $E_1$ , МПа	Эффективный модуль $E_2$ , МПа	Модуль облатности предразрушения $E_3$ , МПа	Предел упругости $\sigma_1$ , МПа	Разрушающее напряжение $\sigma_p$ , МПа	Предел упругой деформации $\epsilon_1$ , %	Деформация разрушения $\epsilon_p$ , %
1	После I ступени размола: нефракционированная масса*	—	—	—	—	—	—	—
	I, II, III фракции*	—	—	—	—	—	—	—
	IV фракция	1277	886	470	3,5	6,6	0,28	0,85
2	После II ступени размола: нефракционированная масса	714	432	191	2,1	3,7	0,30	0,92
	I, II фракции*	—	—	—	—	—	—	—
	III фракция	798	458	241	2,5	4,4	0,32	0,92
	IV фракция	1383	671	324	3,9	7,0	0,29	0,87
3	Сортированная масса: нефракционированная масса	1325	715	283	3,9	7,4	0,31	1,00
	I, II фракции*	—	—	—	—	—	—	—
	III фракция	1423	605	294	3,8	7,8	0,28	1,0
	IV фракция	1888	995	496	6,1	12,5	0,34	1,24

\* Прочность образцов ниже минимума, обусловленного техническими характеристиками разрывной машины.

Оценить процесс разрушения позволяет кривая напряжение — деформация, получаемая путем обработки индикаторной диаграммы нагрузка — удлинение, фиксируемой при статических испытаниях на разрывной машине. В экспериментах использовалась машина ЗМ-10. Испытанию подвергали образцы бумаги массой 60 г/м<sup>2</sup>, изготовленные на аппарате Рапид-Кетен.

Все исследованные характеристики в значительной мере определяются наличием мелкого волокна. Отливки, изготовленные из I и II фракций, а у массы, взятой после I ступени размола, даже из III фракции, получаются очень слабыми и непригодными для испытаний. Довольно четко прослеживается взаимосвязь между средневзвешенной длиной волокон во фракции и прочностными и деформационными свойствами изготовленных из них отливок.

Из сравнения данных табл. 2 и 4 следует, что с превышением средневзвешенной длины волокон сверх 1,15...1,20 мм прочность образцов бумаги резко падает. Было бы ошибочно из этого наблюдения делать вывод, что бумагообразующие свойства волокон ТММ однозначно определяются их длиной, и не учитывать возможных различий в состоянии поверхности волокон. Однако указанное обстоятельство, рассмотренное в совокупности с приведенными выше, свидетельствует о необходимости регулировать процесс производства ТММ таким образом, чтобы улучшить разработку поверхности волокон длинноволокнистой фракции.

Описанные эксперименты позволяют сделать вывод о доминирующем влиянии коротковолокнистой фракции ТММ на комплекс ее бумагообразующих свойств. Усовершенствованный процесс производства ТММ должен предусматривать возможность регулирования количества отходов сортирования, обработку отходов химическими реагентами и их интенсивный разлом.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Влияние фракционного состава термомеханической массы на свойства бумаги для печати / И. П. Шабанова, С. С. Пузырев, Е. П. Елкина, М. И. Бережная // Бум. пром-сть.— 1985.— № 6.— С. 23—24. [2]. Грунин Ю. Б. Исследование взаимодействия связанной воды с волокнами целлюлозы: Дис... канд. техн. наук.— Л.: ЛТА, 1973.— 163 с. [3]. Никитин А. И. Химия древесины и целлюлозы.— М.; Л.— Изд-во АН СССР, 1962.— 711 с. [4]. Перспективный способ улучшения качества древесной массы / С. С. Пузырев, Т. И. Чижев, С. А. Пузырев, Л. И. Лаптев // Бум. пром-сть.— 1986.— № 3.— С. 4—6. [5]. Хабаров Ю. Г., Комаров В. И. Оценка последовательности разрушения целлюлозных волокнистых материалов // Бум. пром-сть.— 1986.— № 6.— С. 16—17.

Поступила 5 октября 1987 г.

УДК 630\*863 : 547.724.1 : 66.02

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ПАРА В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ ФУРФУРОЛА

В. И. СОВОЛЕВ, М. С. КЕВИЧ, Е. Ф. МОРОЗОВ, О. И. ФЕДОРОВА

Белорусский технологический институт

Выход фурфурола из растительного сырья при заданных кинетических параметрах процесса можно увеличить только путем сокращения времени пребывания фурфурола в реакционной зоне, что достигается, прежде всего, повышением скорости его выведения с потоком восходящего пара [5]. Поэтому задача установления критической скорости восходящего потока пара при движении его через неподвижный слой, составленный из частиц растительного сырья, имеет большое значение для процесса прямого получения фурфурола.

Анализ экспериментальных работ [6, 7, 9], выполненных в этой области, показывает, что содержащиеся в них выводы не всегда достаточно обоснованы.

Экспериментальные исследования особенностей течения восходящего потока гидродинамического агента в слое растительного сырья [6, 7] показали, что критическая скорость зависит от вида, размера частиц и их полифракционного состава, а численное ее значение, в частности, для нефракционированных березовых опилок, продуваемых воздухом, равно 0,35... 0,5 м/с.

Для перерасчета критической скорости воздуха  $u_v$  на аналогичную величину для пара  $u_n$ , являющегося гидродинамическим агентом в процессе получения фурфурола прямым методом, в этих работах использовали следующую формулу:

$$u_n = \frac{\mu_v u_v}{\mu_n}, \quad (1)$$

где  $\mu_v$  и  $\mu_n$  — коэффициенты динамической вязкости воздуха и пара.

Однако применение формулы (1) нельзя считать корректным, так как скорость потока газа или пара зависит также от его плотности  $\rho$ , представляющей собой меру инерции в критерии Рейнольдса. Исходя из условия гидродинамического подобия, характеризваемого равенством чисел  $Re$  для двух подобных течений, получаем:

$$u_n = \frac{\mu_v u_v \rho_n}{\mu_n \rho_v} = \frac{u_v \nu_n}{\nu_v}. \quad (2)$$

Здесь  $\nu_v$  и  $\nu_n$  — коэффициенты кинематической вязкости воздуха и пара.