

кой барды с помощью ПЭО (расход 10 мг/л) по типовой технологической схеме количество осадка увеличивается на 20 % по сравнению с ВПК-402 (расход 20 мг/л).

Известно, что флокулянты при оптимальных расходах практически полностью переходят в шлам [3]. Вследствие нетоксичности и малого расхода ПЭО не меняет свойств шлама, который можно использовать в традиционных направлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Алюшин М.Г., Ли В.Н. Полимеры в фармации. - М.: Медицина, 1985. - 254 с. [2]. Баран А.А., Тесленко А.Ф. Флокулянты в биотехнологии. - Л.: Химия, 1990. - 142 с. [3]. Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. - М.: Стройиздат, 1984. - 202 с. [4]. Выглазов В.В., Кинд В.Б., Холькин Ю.И. Технология флокуляционной очистки гидролизатов растительного сырья в производстве кормовых дрожжей // Микробиолог. пром-сть: Экспресс-информация. - 1988. - Вып. 5. - С. 18-19. [5]. Выглазов В.В., Кинд В.Б., Холькин Ю.И. Флокуляционные методы очистки гидролизных сред // Структура, гидролиз и биотехнология растительной биомассы: Тез. докл. Межд. симпозиума (С.-Петербург, 23-28 сент. 1992 г.). - СПб: ЛТА, 1992. - 45 с. [6]. Дымент О.Н., Казанский К.С., Мирошников Л.Н. Гликоли и другие производные окиси этилена и пропилена. - М.: Химия, 1976. - 374 с. [7]. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. - Л.: Химия, 1987. - 122 с. [8]. Калюжный М.Я., Попова В.А. Исследование влияния рН среды на рост дрожжей на гидролизных средах // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. - 1976. - № 6. - С. 3 - 4. [9]. Николаев А.Ф., Охрименко Г.И. Водорастворимые полимеры. - Л.: Химия, 1979. - 146 с. [10]. Флокуляционная очистка гидролизатов растительного сырья в производстве кормовых дрожжей / В.В. Выглазов, В.Б. Кинд, Ю.И. Холькин и др. // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. - 1988. - № 8. - С. 21-23. [11]. Шефтель В.О. Вредные вещества в пластмассах. - М.: Химия, 1991. - 59 с.

Поступила 20 марта 1995 г.

УДК 676.017

И.Б. ФИЛИПОВ, В.И. КОМАРОВ

Архангельский государственный технический университет



Филипов Илья Борисович родился в 1969 г., окончил в 1992 г. Архангельский лесотехнический институт, ассистент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет 10 научных трудов в области деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.

Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии ЦБП Архангельского государственного технического университета. Имеет более 100 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА РАЗМОЛА НА ДЕФОРМАТИВНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КНИЖНО-ЖУРНАЛЬНОЙ БУМАГИ ДЛЯ ОФСЕТНОГО СПОСОБА ПЕЧАТИ

Оценено влияние процесса размола на мельницах типа МДС-14 на деформативность и прочность хвойной и лиственной беленой сульфатной целлюлозы, используемой в производстве бумаги для офсетной печати и стабильность их качества после размола. Рассмотрен характер зависимости показателей прочности и деформативности от фракционного состава по длине волокна и фундаментальных свойств волокон. Исследована динамика изменения основных физико-механических характеристик этих полуфабрикатов при варьировании регулируемых факторов процесса размола.

The effect of beating process in MDS-14 mills on deformability and strength of softwood and hardwood bleached kraft pulp used in the production of offset printing paper, and the stability of its after-grinding quality have been estimated. The relation character of strength-deformability indices and fractional grain composition as well as fibers' fundamental properties has been considered. The dynamics of change in the main physical-mechanical properties of the kraft pulp by varying the controlled factors of the beating process is investigated.

На кафедре технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета проведена работа по комплексному изучению влияния технологических факторов на деформативность и прочность книжно-журнальной бумаги для офсетной печати. Для удобства публикации работа была разделена на девять частей, в которых представлены исследования:

1) деформативности и прочности полуфабрикатов[6];

2) влияния процесса размола при использовании дисковых сдвоенных мельниц типа МДС-14 на деформативность и прочность целлюлозных полуфабрикатов;

3) влияния процесса размола при использовании дисковых сдвоенных мельниц типа МДС-24 на деформативность и прочность механических масс;

4) деформативности и прочности бумаги, содержащей различные смеси волокнистых полуфабрикатов;

5) изменения физико-механических характеристик офсетной бумаги в системе напорный ящик – накат БДМ – суперкаландр;

6) возможности оптимизации композиции офсетной бумаги по волокну;

7) возможности оптимизации композиции офсетной бумаги по химикатам;

8) влияния технологических факторов работы БДМ и суперкаландра на качество книжно-журнальной бумаги для офсетной печати;

9) корреляции характеристик деформативности и прочности книжно-журнальной бумаги для офсетной печати и статистического распределения величин деформационных и прочностных характеристик образцов полуфабрикатов бумажной массы и готовой бумаги.

Во второй и третьей частях работы, которые публикуются в данном номере журнала, рассмотрено влияние процесса размола в производственных условиях на комплекс механических свойств полуфабрикатов, обуславливающих качество бумаги для офсетной печати. Важность размола при подготовке бумажной массы отмечается во многих монографиях, обсуждающих качество бумаги [2, 3, 7, 9, 10].

Данный эксперимент проведен в два этапа: первый – пассивный (набор и математическая обработка результатов наблюдений); второй – попытка оптимизации процесса размола. Исследовали характер изменения деформационных и прочностных характеристик хвойной и лиственной беленой сульфатной целлюлозы при варьировании основных регулируемых факторов процесса размола на мельницах типа МДС-14.

Пассивный эксперимент показал низкую стабильность контролируемых характеристик (табл.1).

Значительные изменения нагрузки на привод мельниц в комплексе с низкой стабильностью качества полуфабрикатов, поступающих на размол [6], способствуют тому, что расхождение наблюдаемых значений разрывной длины размолотой целлюлозы превышает 2000 м при коэффициенте вариации $v = 12\%$.

В табл. 2 представлены результаты испытания образцов двадцати отборов, произведенных в течение квартала. Качество полуфабрикатов в производственных условиях принято оценивать характеристиками прочности, в то время как для надежного прогнозирования качества готовой продукции большое значение имеют фундаментальные [3] и деформационные [4, 5] характеристики, которые также были определены в данном эксперименте.

Таблица 1

**Стабильность технологических параметров при размоле
волоконистых пролуфбрикатов**

Параметр	\bar{X}	max	min	$v, \%$
Концентрация массы, %	2,6/2,8	3,0/3,2	2,2/2,5	7,1/5,7
Нагрузка на привод мельницы, А	172/217	200/300	100/100	24,0/36,3
Разрывная длина, м	4960/4620	6410/5870	4240/3650	11,5/12,1

Примечание. Здесь и далее, в табл. 3, в числителе приведены данные для хвойной, в знаменателе – для лиственной целлюлозы; \bar{X} , max, min – соответственно среднее, максимальное и минимальное значения параметров; v – коэффициент вариации.

Таблица 2

Влияние размола на физико-механические характеристики полуфбрикатов

Характеристики	Хвойная целлюлоза				Лиственная целлюлоза			
	до размола		после размола		до размола		после размола	
	X	$v, \%$	X	$v, \%$	X	$v, \%$	X	$v, \%$
Фундаментальные:								
SV , МПа	2,79	11,3	2,90	14,8	2,28	11,6	2,60	11,4
$F_{св}$, МПа	1,01	9,1	1,04	22,3	0,86	11,8	0,98	8,2
F_z , Дж/м ²	146	15,1	142	15,6	120	11,8	124	12,7
L_0 , м	3080	9,5	2790	15,3	2210	10,2	2420	16,5
V , см ³ /г	1,68	4,5	1,65	4,9	1,64	4,5	1,64	5,0
$l_{ср}$, мм	2,04	16,1	1,73	17,2	1,31	21,0	1,14	14,6
$d_{ср}$, мкм	35,6	11,0	35,3	12,3	31,9	7,6	31,8	7,0
Деформационные:								
E_1 , МПа	3500	24,8	4130	17,8	3920	20,1	4210	19,8
E_3 , МПа	1710	20,0	2110	14,5	2050	11,7	2190	10,9
E_2 , МПа	620	25,4	800	29,9	780	15,2	890	21,2
σ_1 , МПа	12,8	23,7	14,5	18,6	13,2	17,7	14,5	20,3
σ_3 , МПа	17,5	10,5	19,3	13,6	16,9	11,3	18,3	15,5
$\varepsilon_1, \%$	0,37	7,9	0,36	12,4	0,35	10,6	0,36	12,3
$\varepsilon_3, \%$	0,61	18,2	0,57	19,5	0,51	15,0
$\varepsilon_p, \%$	1,91	13,0	1,65	20,0	1,33	13,2	1,39	18,3
G_0 , МПа	611	6,8	614	14,8	622	9,4	637	8,6
EI , мН·см ²	32,5	26,4	31,0	18,9	34,3	42,1	31,6	14,5
Прочностные:								
P , Н	39,8	23,1	38,7	10,6	33,8	23,2	36,2	10,9
L , м	5060	23,3	4960	11,5	4350	23,0	4620	12,1
σ_p , МПа	30,3	22,4	30,9	11,7	26,7	23,4	28,7	11,4
A_p , мДж	48,2	22,2	43,4	30,6	29,0	25,7	33,4	27,0
N , ч.д.п.	44	*	34	*	7	*	12	*
$P_{зв}$, м/с	1,82	11,9	1,90	7,2	1,65	7,1	1,69	5,1
$P_{зс}$, м/с	2,04	9,5	2,14	6,1	1,88	6,5	2,00	7,1

* Коэффициент вариации превышает 50 %.

Из данных табл. 2 следует, что осуществляемый в рамках заданного регламента размол как хвойной, так и лиственной целлюлозы, приводит к росту сил когезии ($F_{св}$, SV), снижению средней длины волокна ($l_{ср}$) и пухлости V материала. Здесь и далее при обсуждении влияния процесса размола на межволоконные силы связи будет использоваться показатель когезионной способности по Кларку SV . В отличие от межволоконных сил связи $F_{св}$, определенных по методу Иванова, этот показатель учитывает удельный объем образцов, т.е. выражает “внутреннюю когезионную способность волокон” [3].

Отметим, что стабильность показателей, характеризующих свойства волокна, в основном снижается.

Рассматривая деформационные характеристики, следует отметить, что размол полуфабрикатов способствует увеличению жесткости при приложении растягивающей нагрузки и снижению жесткости при изгибе. Общим для образцов как хвойной, так и лиственной целлюлозы является возрастание коэффициента вариации характеристик, описывающих состояние образца в момент разрушения (модуль упругости E_2 , деформация ϵ_p). Наблюдаемый при этом рост стабильности разрушающего напряжения σ_p свидетельствует о том, что наиболее сильным колебаниям подвержена пластическая составляющая деформации образцов размолотой целлюлозы. Принимая во внимание, что в обоих случаях возрастают коэффициенты вариации собственной прочности волокна, высокие колебания деформации перед разрушением образца можно объяснить снижением стабильности прочности волокна, оцениваемой в данном эксперименте нулевой разрывной длиной L_0 .

Размол хвойной целлюлозы в рамках данного технологического процесса приводит к уменьшению прочности при растяжении, что может быть объяснено лишь снижением в результате размола прочности волокна и незначительной фибриляцией его поверхности. Размол лиственной целлюлозы вызывает рост прочностных характеристик.

Стабильность во времени показателей прочности возрастает. Исключение составляет лишь работа разрушения A_p , величина которой в определенной степени зависит от способности материала деформироваться в процессе приложения нагрузки.

При достижении в процессе размола заданных величин характеристик прочности деформационные характеристики обнаруживают более высокую вариацию значений. Об этом свидетельствует ход кривых зависимости напряжение – деформация для образцов хвойной и лиственной целлюлозы, прошедших стадию размола и обладающих равной разрывной длиной (рис. 1). Как видно из рис. 1, при равенстве прочности поведение образцов в процессе приложения нагрузки отличается многообразием.

Большой массив данных, полученных при проведении пассивного эксперимента, позволил выделить случаи, хорошо иллюстрирующие влияние фундаментальных свойств волокна на деформационные и прочностные характеристики исследуемых полуфабрикатов.

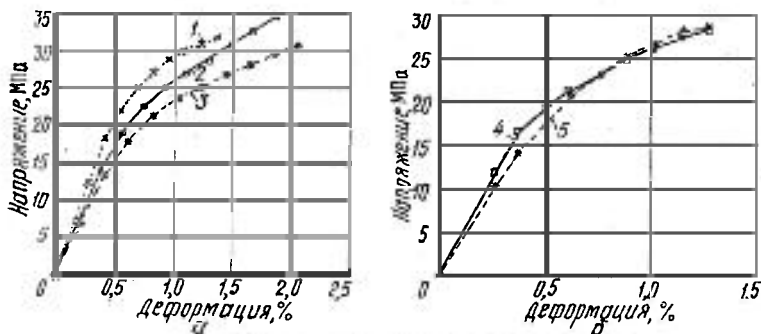


Рис. 1. Зависимость напряжение – деформация для образцов хвойной (а) и лиственной (б) сульфатной блененой целлюлозы: 1 – 3 – $L = 4900$ м; 4, 5 – $L = 4350$ м

Образцы для этого группировали по следующим признакам: первая группа – образцы с равными силами когезии; вторая – с равной средней длиной волокна; третья – образцы, значительно отличающиеся величиной начального модуля упругости E_1 .

В табл. 3 и на рис. 2 (номера образцов в таблице и на рисунке совпадают), представлены экспериментальные данные испытания групп образцов хвойной и лиственной целлюлозы, обладающих указанными признаками. Сравнительный анализ этих и полученных нами ранее данных [6] выявил ряд общих закономерностей. Так, в случае равенства сил когезии (SI) образцы, которые характеризуются более пологим ходом кривых $\sigma - \epsilon$ в начальный период нагружения (кривые 2), отличаются большей средней длиной волокна и пухлостью, а также меньшей относительной долей фракций волокон с длиной менее 1,2 мм. При меньших значениях начального модуля упругости E_1 и модуля сдвига G_0 эти образцы имеют большую деформацию разрушения ϵ_p . Следует отметить, что менее жесткие в начальный период нагружения образцы имеют большее разрушающее усилие P и работу разрушения A_p , но меньшую разрывную длину L .

Отличительной чертой образцов, прошедших размол, является то, что в образцах, обладающих более высоким начальным модулем упругости (кривые 1), при нагружении возникают меньшие, по сравнению с образцами второго типа (кривые 2), напряжения (σ_z , σ_p). Можно предложить, что образцы второго типа после размолла содержат большее количество длинных армирующих волокон (длина более 1,8 мм), которые при равенстве сил когезии обеспечивают им более высокую жесткость в момент, предшествующий разрушению.

Из экспериментальных данных, представленных в табл. 3 и на рис. 2, видно, что у образцов лиственной целлюлозы с равной средней длиной волокна фракционный состав практически идентичен. Менее жесткие образцы хвойной целлюлозы имеют более низкое относительное содержание коротких (до 0,6 мм) волокон и волокон с длиной более 2,4 мм. Менее жесткие образцы исходных полуфабрикатов [6] в этом случае отличаются меньшими прочностью волокна и силами связи, но большей пухлостью.

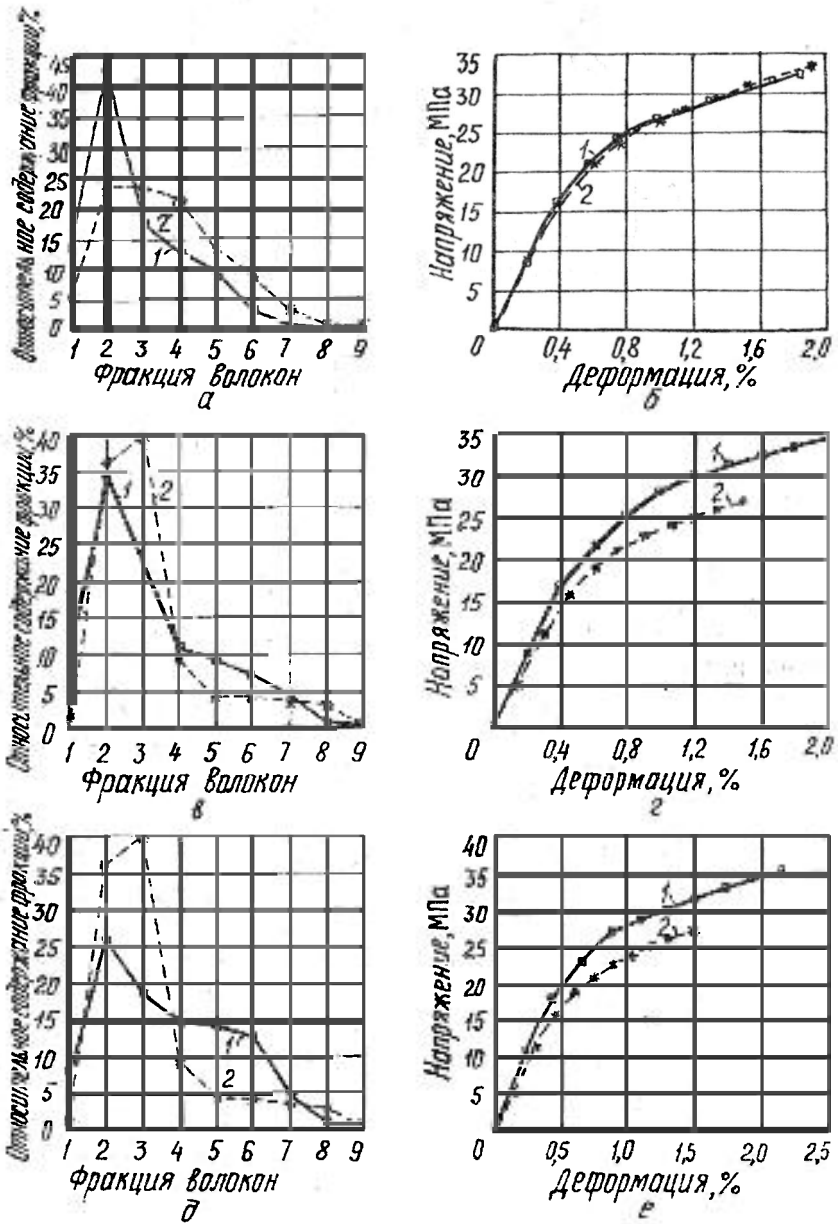
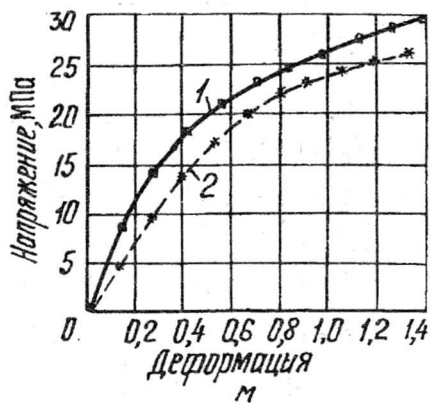
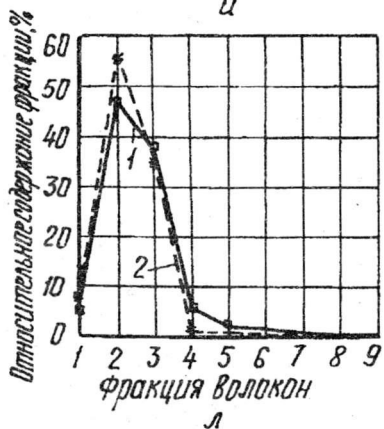
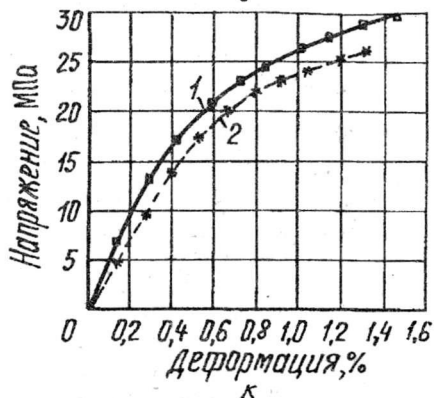
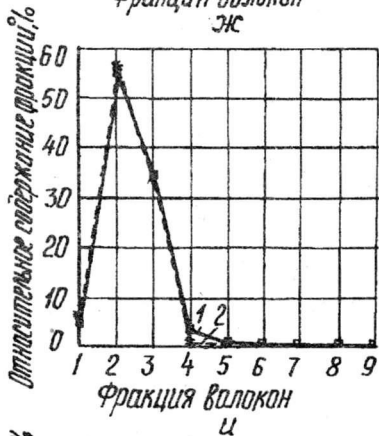
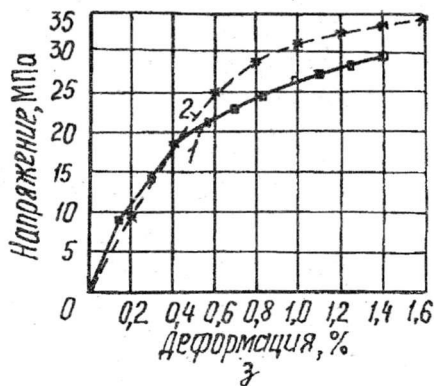
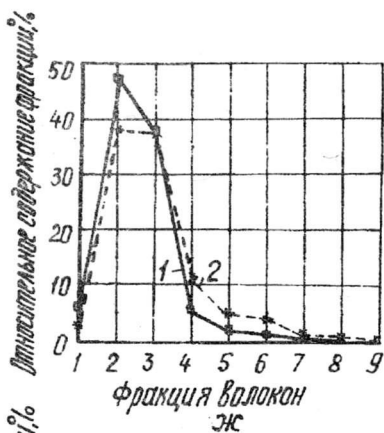


Рис. 2. Фракционный состав (а, в, д, ж, и, л) и зависимость напряженно-деформационной (ж - м) целлюлозы при равенстве когезионной длины волокон (в, г, и, к), максимальной (кривая 1) и минимальной (кривая 2) (Номера кривых соответствуют номерам образцов в табл. 3; 4 - 1,8 ... 2,4; 5 - 2,4 ... 3,0; 6 - 3,0 ... 3,6;



ние – деформация (б, г, е, з, к, м) для образцов хвойной (а – е) и способности волокон (по Кларку) (а, б, ж, з), равенстве средней (кривая 2) величине начального модуля упругости (д, е, л, м) фракции волокон: 1 – < 0,6 мм; 2 – 0,6...1,2; 3 – 1,2...1,8; 7 – 3,6 ... 4,2; 8 – 4,2 ... 4,8; 9 – > 4,8 мм.)

Таблица 3
 Физико-механические характеристики хвойной (числитель) и лиственной (знаменатель) пеллилозы после размола

Характеристики	Образцы с равными силами вогзнии (по Кларку)		Образцы с равной средней длиной волокна		Образцы с максимальным и минимальным (2) значениями модулем упругости	
	1	2	1	2	1	2
Фундаментальные:						
SF , МПа	2,99	2,66	3,36	2,51	2,57	2,27
$F_{вн}$, МПа	1,27	1,31	1,20	0,96	1,00	0,98
$F_{сн}$, Дж/м ²	98	160	141	131	141	111
L_0 , м	3460	2500	2930	2280	2580	2030
V , см ³ /г	1,58	1,56	1,71	1,61	1,60	1,78
L_{00} , мм	1,33	1,24	1,61	1,11	1,61	1,10
$d_{ар}$, μ км	37	34,3	36,7	28,9	29,6	32,7
Деформационные:						
E_1 , МПа	4590	5650	4360	4630	3670	3660
E_2 , МПа	2000	2560	2150	2210	1780	2070
E_3 , МПа	660	760	620	800	530	710
σ_1 , МПа	16,1	14,0	14,5	15,2	14,2	13,6
σ_2 , МПа	20,5	18,2	22,3	19,1	19,0	18,4
σ_3 , МПа	32,7	29,9	34,8	29,7	27,0	26,1
ϵ_1 , %	0,36	0,26	0,37	0,34	0,39	0,37
ϵ_2 , %	0,54	0,40	0,61	0,49	0,61	0,57
ϵ_3 , %	1,84	1,40	1,92	1,44	1,48	1,32
EI , μ Н · см ²	710	730	650	610	590	560
G_0 , МПа	24,8	37,2	31,2	36,6	26,1	25,4
Прочностные:						
P , Н	40,0	38,5	41,9	37,2	36,3	29,9
L , м	5350	5470	5270	4820	4780	3960
A_p , мДж	51,2	35,9	59,6	35,4	35,6	27,0
$P_{за}$, м/с	1,86	1,74	2,20	1,68	1,90	1,70
$P_{ст}$, м/с	2,16	1,98	2,40	1,90	2,20	1,90
N , ч.д.п.	22	12	50	5	12	4
					158	12
					37,2	25,4
					47,6	38,5
					61,20	54,70
					72,4	35,9
					1,84	1,74
					2,02	1,98
					158	12
					36,3	29,9
					4780	3960
					35,6	27,0
					1,90	1,70
					2,20	1,90
					158	12

Имея меньшие значения начального модуля упругости и модуля сдвига, более слабые при испытаниях на растяжение образцы характеризуются более низкими значениями жесткости при изгибе и деформации разрушения. Прочностные характеристики образцов с одинаковой средней длиной волокна ниже у тех из них, которые имеют более пологую кривую $\sigma - \varepsilon$.

Отметим, что в данном случае все наблюдаемые тенденции были практически идентичны полученным для неразмолотых полуфабрикатов [6].

В случае образцов, которые в выборках обнаружили максимальные и минимальные значения начального модуля упругости, наблюдалось следующее. Образцы с максимальной величиной указанного показателя (кривые *I*) имеют более высокие значения межволоконных сил связи, прочность и среднюю длину волокна, а также меньшую пухлость. Кроме того, более жесткие образцы обладают и более высоким относительным содержанием фракций волокон с длиной более 2,4 мм. В случае неразмолотых полуфабрикатов [6] более жесткие образцы хвойной целлюлозы отличаются меньшей средней длиной волокна и более высоким относительным содержанием коротковолокнистых фракций.

У всех исследуемых образцов целлюлозы более высокие значения начального модуля упругости соответствуют более высоким характеристикам прочности.

Пассивный эксперимент выявил следующее :

1) характер воздействия размола на мельницах типа МДС-14 на силы когезии волокон исследуемых полуфабрикатов, изменения средней длины волокна и пухлости материала, а также влияние этих фундаментальных факторов на жесткость образцов при растяжении и изгибе;

2) увеличение разброса значений характеристик прочности волокна и характеристик, описывающих состояние образца перед разрушением;

3) более высокую вариацию значений деформационных характеристик исследуемых полуфабрикатов по сравнению с вариацией прочностных и фундаментальных характеристик;

4) необходимость регулирования относительного содержания фракций с определенной длиной волокна для обеспечения заданных значений величин характеристик прочности и деформативности размолотой целлюлозы;

5) высокую неравномерность качества целлюлозы после размола, в определенной степени обусловленную конструкцией мельницы (затруднен контроль за положением дисков) и невысокой эффективностью контроля за стабильностью параметров процесса, что не позволяет своевременно влиять на качество поступающих полуфабрикатов.

Последнее обстоятельство выдвигает на первый план задачи определения характера влияния регулируемых факторов процесса размола в мельницах типа МДС-14 на физико-механические характеристики исследуемой целлюлозы и оптимизации процесса размола.

Для решения этих задач на втором этапе исследования путем варьирования концентрации волокнистой массы и присадки дисков мельницы осуществляли активное воздействие на процесс размола.

Концентрацию массы C хвойной целлюлозы варьировали от 2,20 до 3,25 %, лиственной – от 2,80 до 3,64 %, что совпадает с реальными условиями производства. Присадку дисков фиксировали на трех уровнях: диски полностью разведены (присадка $P_p = 0$ %); диски в среднем положении ($P_p = 50$ %); диски сведены на возможно близкое расстояние ($P_p = 100$ %). Положение дисков контролировали по нагрузке на привод мельницы при заданной концентрации массы. Нагрузку на привод фиксировали при полностью разведенных и сближенных на максимально возможное расстояние дисках. После чего диски выводили в положение, соответствующее средней нагрузке.

Полученные данные позволили рассчитать коэффициенты полинома второго порядка [1] и построить для наиболее важных физико-механических характеристик поверхности, отражающие их зависимость от условий проведения процесса размола. Эти поверхности дают возможность судить о динамике изменения характеристик при варьировании условий размола.

Размол хвойной целлюлозы. Динамика формирования свойств данного полуфабриката характеризуется изменением фракционного состава по длине волокна и развитием межволоконных сил связи при размоле.

Как видно из рис. 3, *a, в, д*, при изменении условий проведения процесса размола происходит существенное перераспределение фракционного состава исследуемого полуфабриката. Независимо от концентрации массы увеличение присадки дисков мельницы влечет за собой сокращение относительной доли длинных волокон и рост доли коротковолокнистых фракций. Тот же эффект наблюдается с увеличением концентрации массы при размоле. Наиболее интенсивное воздействие гарнитуры выявлено при $P_p = 100$ % и $C = 3,25$ %.

С увеличением присадки дисков и концентрации массы за счет роста в бумажной массе доли коротковолокнистых фракций происходит существенное уплотнение структуры материала. Увеличение присадки при малых и средних концентрациях вызывает рост когезионной способности волокон. А размол при высоких концентрациях приводит к снижению когезионной способности и росту доли коротковолокнистых фракций, что свидетельствует о преимущественной рубке волокон в этих условиях.

Тем не менее, как видно из рис. 4, *a*, максимальных значений прочность образцов хвойной целлюлозы достигает именно при высоких концентрациях. Это объясняется тем, что волокна, размолотые при высоких значениях C и P_p , обладают высокой, но не максимальной когезионной способностью. При этом доля коротковолокнистых фракций достаточно велика, чтобы образовать плотную структуру с большим числом прочных межволоконных связей.

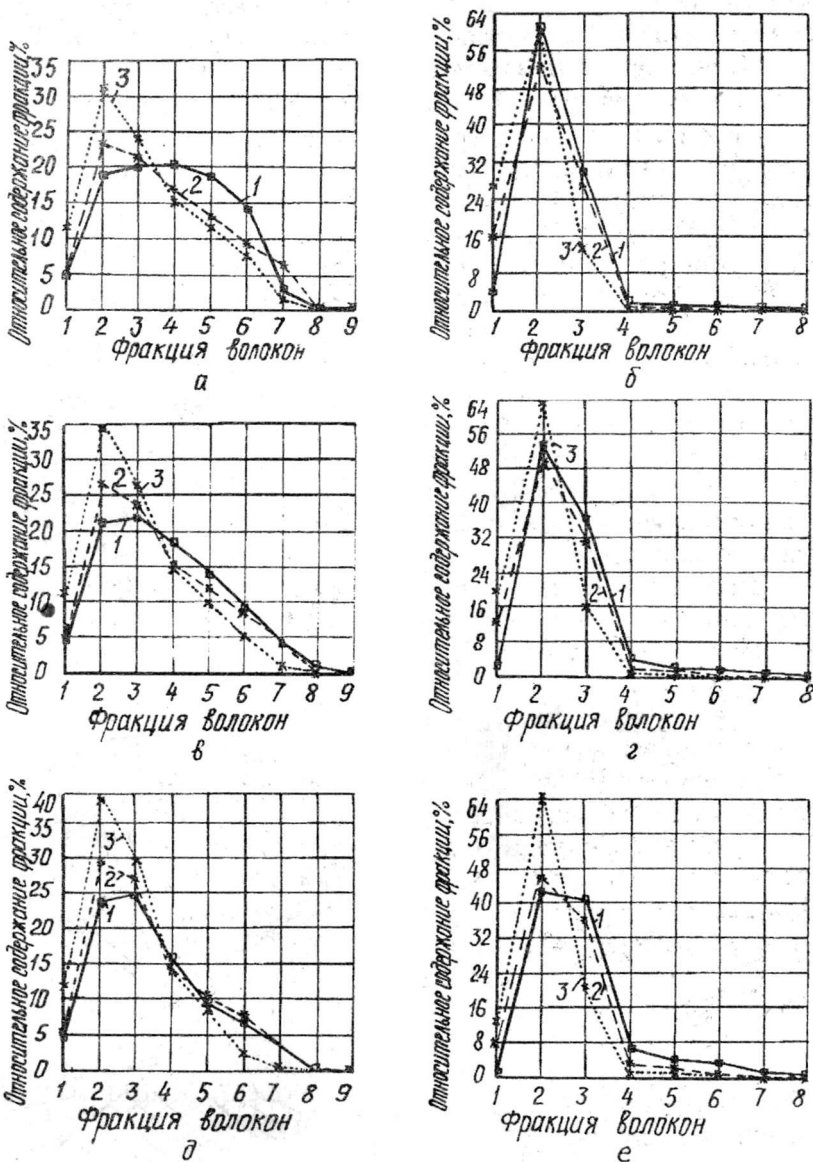


Рис. 3. Влияние переменных факторов процесса размола на фракционный состав образцов хвойной (а, в, д) и лиственной (б, г, е) целлюлозы: а – концентрация массы $C = 2,20$ %; б – 2,80; в – 2,78; г – 3,22; д – 3,25; е – 3,64 %; 1 – присадка дисков $P_p = 0$ %; 2 – 50; 3 – 100 % (Обозначения фракций приведены на рис. 2.)

Динамика изменения прочности поверхности P_{zc} значительно отличается от характера изменения разрывной длины L (рис. 4, в). Во всем диапазоне рассматриваемых концентраций и при величине присадки от 0 до 60 % изменение стойкости поверхности (СПВ) адекватно изменению когезионной способности волокон. При более высоких

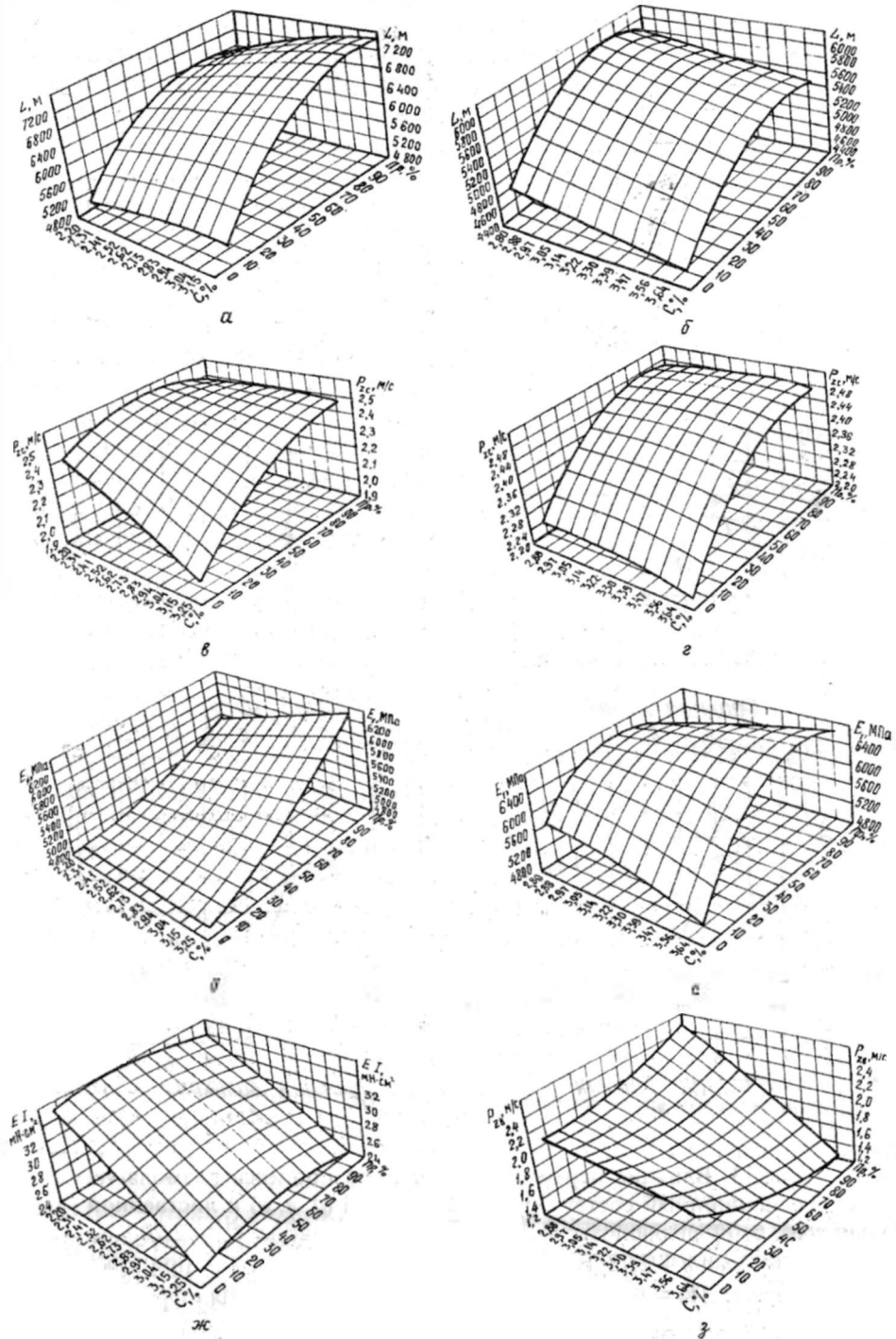


Рис. 4. Влияние переменных факторов процесса размола на разрывную длину (*a*, *б*), стойкость поверхности к выщипыванию с сеточной стороны (*в*, *г*), начальный модуль упругости (*д*, *е*), жесткость при изгибе (*ж*) и стойкость поверхности к выщипыванию с внешней стороны (*з*) образцов хвойной (*a*, *в*, *д*, *ж*) и лиственной (*б*, *г*, *е*, *з*) целлюлозы

присадках несмотря на рост сил когезии СПВ практически стабилизируется на уровне 2,5 м/с. Это связано с тем, что в указанных условиях за счет повышения относительной доли коротких волокон структура материала отличается более высокой плотностью, а поверхность образцов наиболее однородна. Из-за этого возрастает площадь контакта между поверхностью бумаги и печатной формой. При прочих равных условиях (например, равной когезионной способности) это привело бы к снижению стойкости поверхности к выщипыванию [8]. В данном случае наблюдалось как уплотнение структуры, так и рост когезионной способности волокон, результатом чего и явилась стабилизация СПВ на одном уровне.

Максимальных значений СПВ достигает при $P_p = 60$, $C = 2,20$ %. Вероятно, в данных условиях баланс между основными действующими факторами (фракционный состав, силы когезии и способность волокон к уплотнению во влажном состоянии) оптимален.

Изменения величины начального модуля упругости, возникающие при варьировании условий размола (рис. 4, *д*), тесно связаны с изменениями во фракционном составе по длине волокна. Увеличение относительной доли коротких волокон с ростом концентрации массы и присадки приводит к уплотнению структуры и росту площади контакта между волокнами, что вызывает возрастание модуля упругости. Лишь при малых присадках (0...20 %), т. е. когда поверхность волокон разработана слабо, такой закономерности не выявлено.

Жесткость при изгибе образцов хвойной целлюлозы в данном эксперименте не обнаружила однозначных взаимосвязей с фракционным составом или фундаментальными свойствами волокон. Отметим лишь, что более сильное влияние на величину исследуемого показателя оказывает концентрация массы (рис. 4, *ж*). Максимальное значение жесткость при изгибе имеет при $C = 2,20$ % и $P_p = 40...50$ %.

Размол лиственной целлюлозы. Диаграммы распределения фракционного состава (рис. 3, *б*, *з*, *е*) свидетельствуют о том, что динамика изменения фракционного состава лиственной целлюлозы в процессе размола сложнее, чем у хвойной. Так, при низкой и средней концентрациях (2,80 и 3,32 %) увеличение присадки от 0 до 50 % приводит к росту относительной доли очень коротких волокон (менее 0,6 мм) за счет преимущественного измельчения волокон с длиной от 0,6 до 1,8 мм. Силы когезии при этом возрастают, а пухлость образцов снижается. С дальнейшим ростом присадки более сильному измельчению подвергаются и волокна, обладающие большей длиной. Когезионная способность волокон при этом ослабевает, а пухлость увеличивается.

С возрастанием концентрации массы до 3,64 % увеличение присадки до 50 % приводит к более интенсивному воздействию на фракции волокон с длиной 1,2...1,8 мм. Относительная доля более длинных волокон сохраняется на прежнем уровне. Дальнейшее увеличение присадки дисков при данной концентрации интенсифицирует воздействие гарнитуры на волокна с длиной более 1,8 мм. Когезионная способность волокон во всем диапазоне варьирования присадки

дисков возрастает. Однако интенсивность роста сил когезии по мере увеличения присадки замедляется.

Из рис. 3, б, г, е видно, что при присадке, не превышающей 50 %, с ростом концентрации массы происходит сокращение относительной доли коротковолокнистых фракций, а силы когезии и плотность упаковки волокон при этом практически не изменяются.

В условиях, когда присадка близка к 100 %, увеличение концентрации приводит к изменению баланса в относительном содержании коротковолокнистых фракций. Снижается доля волокон с длиной менее 0,6 мм и возрастает – с длиной 0,6...1,8 мм. Доля длинных волокон остается практически неизменной. Когезионная способность волокон лиственной целлюлозы, размолотой в таких условиях, увеличивается с ростом концентрации массы.

Сравнение динамики изменения фракционного состава по длине волокна и величины разрывной длины (рис. 4, б) образцов лиственной целлюлозы позволяет утверждать, что рост относительной доли волокон с длиной менее 0,6 мм за счет измельчения волокон, обладающих длиной 0,6...1,8 мм, при сохранении примерно постоянного содержания длиноволокнистых фракций положительно сказывается на прочности при растяжении. Если когезионная способность волокон различных образцов одинакова, то большей прочностью обладает образец, имеющий в своем составе большее количество коротких волокон. Такая тенденция наблюдается при увеличении присадки от 0 до 70 % независимо от концентрации массы. Дальнейшее увеличение присадки дисков вызывает более интенсивное воздействие гарнитуры на длиноволокнистые фракции. Их относительная доля сокращается. Если этот процесс не сопровождается ростом сил когезии (размол при малых и средних концентрациях), то наблюдается снижение величины разрывной длины. В случае даже незначительного роста когезионной способности выявлена стабилизация прочности (концентрации примерно 3,64 %).

Как видно из рис. 4, г, з, увеличение концентрации и присадки при размоле лиственной целлюлозы способствует росту разносторонности образцов. Минимальная разносторонность при высоких значениях СПВ получена при $P_p = 100 \%$ $C = 2,80 \%$.

Характер изменения величины начального модуля упругости (рис. 4, е) адекватен изменению когезионной способности волокон. Чем выше силы когезии, тем выше модуль упругости исследуемого материала. Максимум данной характеристики наблюдался при $P_p = 80 \%$ и $C = 3,64 \%$.

При испытаниях как лиственной, так и хвойной целлюлозы каких-либо однозначных взаимосвязей фундаментальных свойств или фракционного состава с жесткостью при изгибе не обнаружено.

Если сравнить поверхности, описывающие поведение одной и той же характеристики хвойной и лиственной целлюлозы, то можно выявить общую тенденцию. Отличие заключается главным образом в том, что прочностные характеристики и начальный модуль упругости хвойной целлюлозы при увеличении присадки дисков свыше 70 % продолжают возрастать, лиственной – снижаться. Это обусловлено чрез-

мерным измельчением при высоких присадках коротких (в силу своей природы) волокон лиственной целлюлозы.

Различия в природе прочностных и деформационных характеристик являются причиной различного характера изменения этих показателей при варьировании условий размола. В табл. 4 представлены условия, необходимые для достижения характеристиками максимальных значений. Как видно из данных табл. 4, максимумы у каждой из представленных характеристик наблюдаются при различных условиях. Этот факт, а также отсутствие научно-обоснованных требований к величине деформационных показателей затрудняет оптимизацию процесса размола исследуемых полуфабрикатов.

Таблица 4

Условия достижения максимальных значений физико-механических характеристик при размоле волокнистых полуфабрикатов

Присадка дисков, %	Концентрация массы, %	L , м	P_{zc} , м/с	E_1 , МПа	EI , мН · см ²
Хвойная целлюлоза					
90	3,25	7560*	2,48	6200	25,5
60	2,20	6780	2,58*	5200	36,1*
100	3,25	7520*	2,50	6410*	25,1
40	2,20	6440	2,56	5060	36,3*
Лиственная целлюлоза					
80	2,80	6070*	2,50*	6420	22,1
80	3,64	5600	2,40	6950*	22,2
0	2,80	4940	2,25	5800	29,1*

* Максимальное значение характеристики.

В ходе оптимизации этого процесса перед нами стояла задача получения максимально возможных значений жесткости при изгибе и модуля упругости при минимальном снижении характеристик прочности материала.

Экспериментально получено при $P_p = 100\%$ и $C = 2,5\%$ для лиственной целлюлозы $L = 7090$ м; $P_{zc} = 2,51$ м/с; $E_1 = 5858$ МПа и $EI = 31,9$ мН · см²; при $P_p = 50\%$ и $C = 2,8\%$ для лиственной целлюлозы $L = 5850$ м; $P_{zc} = 2,43$; $E_1 = 6550$ МПа и $EI = 25,3$ мН · см².

Выводы

1. Поведение образцов размолотой целлюлозы (как хвойной, так и лиственной), которое отражено ходом кривых зависимости $\sigma - \epsilon$, не определяется однозначно когезионной способностью или средней длиной волокна, а во многом обусловлено фракционным составом по длине волокна и величиной нулевой разрывной длины. Образцы, имеющие большую нулевую разрывную длину, обнаруживают более высокие деформацию разрушения и вязко-упругие характеристики. Образцы с одинаковой прочностью, определяемой разрывной длиной, имеют различные характеристики деформативности.

2. Образцы целлюлозы, подвергнутые размолу, имеют более высокие коэффициенты вариации у характеристик деформативности, чем у характеристик прочности. Таким образом, следует обращать особое внимание на повышение стабильности характеристик деформативности.

3. Повышенную вариацию характеристик деформативности можно объяснить особым влиянием фракционного состава по длине волокна, колебания которого особенно велики.

4. Поверхности отклика, отражающие связь концентрации массы и присадки дисков с характеристиками деформативности и прочности, показывают избирательность влияния регулируемых факторов процесса размола на деформативность и прочность материала. Следствием этого является различная динамика изменения этих характеристик при варьировании условий размола.

5. Для обеспечения высоких значений характеристик прочности образцов размолотых полуфабрикатов волокна, образующие их структуру, должны обладать высокой способностью к уплотнению во влажном состоянии и образовывать прочные межволоконные связи. Фракционный состав при этом для хвойной целлюлозы должен быть представлен в основном фракциями с длиной волокна свыше 2,4 мм, для лиственной – выше 1,8 мм.

6. Для получения высокой жесткости у образцов при растяжении в замедленно упругой и пластической зонах необходимы те же условия, что и для прочностных показателей. Следует отметить, что в начальный период нагружения, наряду с высокой когезией волокон и плотной упаковкой структуры, требуется относительно высокое содержание фракций с длиной волокна менее 1,2 мм. В большей степени эта зависимость проявляется у хвойной целлюлозы.

7. Из-за чрезмерного измельчения волокон лиственной целлюлозы ее размол более целесообразно производить при более низкой, по сравнению с хвойной целлюлозой, присадке дисков.

8. Для обеспечения высоких показателей прочности и жесткости при растяжении размол следует производить при высокой присадке дисков (90...100 % – для хвойной; 70...80 % – для лиственной целлюлозы).

9. Высокая жесткость при изгибе обеспечивается пониженной присадкой дисков (40...60 % – для хвойной; 0...20 % – для лиственной целлюлозы).

10. При использовании для размола мельниц двоярного типа сложности с контролем среднего диска определяют затруднения со стабилизацией качества массы после размола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии: Учеб. пособие для химико-технологических вузов. - М.: Высш. шк., 1978. - 319 с. [2]. Бывшев А.В., Савицкий Е.Е. Механическое диспергирование волокнистых материалов. - Красноярск: Изд-во Красн. ун-та, 1991. - 216 с. [3]. Кларк Дж. Технология

целлюлозы. - М.: Лесн. пром-сть, 1983. - 456 с. [4]. Комаров В.И. Анализ зависимости напряжение – деформация при испытаниях на растяжение целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. - 1993.- № 2 - 3. - С. 123 -131.- (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Комаров В.И. Жесткость при изгибе целлюлозно-бумажных материалов. Анализ методов измерения и влияние технологических факторов // Лесн. журн. - 1994. - № 3. - С. 112 - 142.- (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Комаров В.И., Филиппов И.Б. Деформативность и прочность полуфабрикатов, используемых в производстве бумаги для офсетной печати // Лесн. журн. - 1995. - № 4 - 5. - С. 104 - 121.- (Изв. высш. учеб. заведений). [7]. Легоцкий С.С., Лаптев Л.Н. Размол бумажной массы - М.: Лесн. пром-сть, 1981. - 94 с. [8]. Остреров М.А., Гончарова Т.И., Федорова Т.А. Стойкость поверхности бумаги к выщипыванию // Целлюлоза, бумага и картон. - 1994. - № 7 - 8. - С. 20 - 21. [9]. Фляте Д.М. Свойства бумаги.- М.: Лесн. пром-сть, 1986. - 680 с. [10]. Шустов А.Д. Процессы деформации бумажного полотна. - М.: Лесн. пром-сть, 1969. - 200 с.

Поступила 19 сентября 1995 г.