

УДК 676.1.022

***Е.В. Дьякова, В.И. Комаров, А.В. Гурьев,
В.П. Елькин, В.И. Горшков, Н.А. Каунихин***

Дьякова Елена Валентиновна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства. Имеет 6 печатных работ в области исследования свойств полуфабрикатов для производства тарного картона.



Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 270 печатных трудов в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



Гурьев Александр Владиславович родился в 1965 г., окончил в 1990 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 30 печатных трудов в области исследования свойств и разработки технологии производства и переработки тарного картона.



Елькин Владимир Павлович родился в 1947 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, директор по качеству ОАО «Архангельский ЦБК». Имеет 10 печатных работ в области технологии производства целлюлозы и картона.



РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВАРКИ ПОЛУФАБРИКАТА ДЛЯ ТАРНОГО КАРТОНА

Разработана технология производства тарного картона с использованием в композиции модифицированных видов полуцеллюлозы.

Ключевые слова: волокнистые полуфабрикаты, картон-лайнер, бумага для гофрирования, нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза, варка, степень замещения, гофрированный картон, моносulфитный щелок, белый щелок.

За последние годы возросла как конкуренция среди производителей картона-лайнера различных марок и флутинга, так и требования к их качеству и стабильности. Качество картона становится все более весомым аргументом при выборе поставщика продукции. Это побуждает производителей к модернизации действующих картоноделательных машин, внедрению современных технологий, средств автоматизации и контроля качества.

Архангельский ЦБК, являясь крупнейшим производителем картона для плоских слоев гофрокартона (крафт-лайнер и картон универсальный) и обладая двумя самыми мощными в России КДМ, производит качественную продукцию, признанную многими потребителями.

Однако из-за значительного различия в цвете сульфатной целлюлозы и нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы (НСПЦ) при производстве картона универсального постоянно возникала проблема внешнего вида. При выработке картона универсального на КДМ-2 сквозь коричневый покровный слой виден более светлый основной слой. Чаще всего это проявляется в виде дефекта «светлых полос». Существующий напорный ящик покровного слоя не позволяет подавать более 10 ... 12 % волокна от общей массы картона. Это вызывало необходимость уменьшения количества более дешевого полуфабриката, коим является НСПЦ, в основном слое картона и, как следствие, удорожание продукции.

Для решения данной проблемы было предложено изменить технологию варки полуцеллюлозы. Цель модификации – изменение цвета полуцеллюлозы для улучшения внешнего вида картона и повышения доли полуцеллюлозы в композиции с сохранением качественных показателей продукции.

Известно, что более темную полуцеллюлозу можно получить путем изменения характера хромофорных групп лигнина при смещении pH варочного раствора в щелочную область (pH 8,5 ... 9,5) за счет добавки к моносльфитному щелоку определенного количества щелочного реагента – белого щелока [2, 3].

Основные задачи, стоявшие перед нами – получение полуфабриката, пригодного для использования в композициях картона-лайнера и бумаги для гофрирования, с максимальным (до 100 %) замещением моносulfита в варочном щелоке на белый щелок; оценка влияния факторов варки на смеси щелоков на физико-механические свойства полуцеллюлозы.

Варки проводили периодическим способом в лаборатории АГТУ с использованием сырья и варочных реагентов, отобранных на производстве.

Эксперимент осуществлен с использованием ротатбельного композиционного равномерного плана второго порядка. В качестве варьируемых факторов приняли продолжительность стоянки на конечной температуре и процент замещения моносulfита натрия белым щелоком (БЩ). Полная характеристика варьируемых параметров представлена в табл. 1.

Постоянные условия варки: гидромодуль 4,5; соотношение моносulfита натрия и соды 5:1; начальная температура варки 150 °С; максимальная температура варки 175 °С; расход общей щелочи на варку 20 %

Таблица 1

Вариант	Варьируемые параметры		Состав белого щелока, г/л (в ед. Na ₂ O)		Состав моносльфитного щелока, г/л (в ед. Na ₂ CO ₃)		Выход, %	Число Каппа	Продолжительность размола до 30 °ШР, мин
	Замещение на БЩ, %	Продолжительность стоянки, мин	A	Na ₂ S	Na ₂ SO ₃ /Na ₂ CO ₃	Na ₂ CO ₃ общ.			
1	57,3	30	104,5	32,2	88,5/17,5	106	86	118	22,0
2	57,3	60	104,5	32,2	88,5/17,5	106	80	154	22,0
3	92,6	30	106,0	32,6	87,5/18,6	106	76	134	22,0
4	92,6	60	106,0	32,6	87,5/18,7	106	88	120	22,0
5	75,0	24	111,0	32,2	91,2/19,1	110	76	84	21,5
6	75,0	66	111,0	32,2	91,2/19,2	110	83	80	22,0
7	50,0	45	112,5	32,6	94,9/19,1	114	67	110	22,0
8	100,0	45	102,6	29,8	–	–	91	184	30,0
9	75,0	45	114,7	33,8	90,6/17,0	108	85	132	22,5
10	75,0	45	114,7	33,8	90,6/17,1	108	88	127	22,0
11	75,0	45	112,5	32,6	94,9/19,1	114	89	110	17,0
12	75,0	45	112,5	32,6	94,9/19,2	114	87	125	23,0
13	75,0	45	112,5	32,6	94,9/19,3	114	86	108	17,0

(в ед. Na₂CO₃); продолжительность подъема до максимальной температуры 45 мин.

В качестве параметров для оценки свойств полученной полуцеллюлозы приняты выход и число Каппа, а также комплекс физико-механических показателей: стандартные физико-механические характеристики прочности и жесткости (разрывная длина L , сопротивление продавливанию $П$, сопротивление плоскостному сжатию СМТ, сопротивление сжатию кольца РСТ, сопротивление сжатию короткого образца SCT), характеристики деформативности (жесткость при изгибе EI , начальный модуль упругости E_1 , энергия, поглощаемая при растяжении ТЕА, деформация разрушения ε_p , жесткость при растяжении S_t , показатель трещиностойкости J_{IC} , силы связи по Иванову $F_{св}$, плотность ρ , прочность волокна L_0).

В результате реализации плана эксперимента были получены образцы полуфабриката массой 1 м² 125 г, имеющие степень помола волокна 30 °ШР, с выходом 67 ... 91 % и степенью делигнификации 80 ... 184 ед. Каппа. Указанные значения соответствуют крайним, граничным условиям. Средний диапазон варьирования существенно меньше: выход – 80 ... 88 %, степень делигнификации – 110 ... 135 ед. Каппа. Практически все полученные образцы обладают насыщенным коричневым цветом. Следует отметить некоторое увеличение продолжительности размола до 30 °ШР (в среднем на 5-6 мин) по сравнению с классической моносльфитной варкой. Свойства полученных полуфабрикатов представлены в табл. 1.

В табл. 2 приведены результаты определения стандартных физико-механических характеристик полуцеллюлозы. Данные показывают, что во всех исследуемых вариантах значения основных показателей превышают

Таблица 2

Вариант	Варьируемые параметры		Физико-механические характеристики				
	Замещение на БЦ, %	Продолжительность стоянки, мин	L, м	П, кПа	СМТ ₃₀	RCT	SCT, кН/м
					H		
1	57,3	30	9 850	710	300	330	5,9
2	57,3	60	10 100	725	310	360	5,9
3	92,6	30	9 500	775	285	350	6,0
4	92,6	60	10 800	740	300	340	5,6
5	75,0	24	9 650	780	315	345	6,0
6	75,0	66	9 500	760	260	295	5,3
7	50,0	45	9 800	700	280	320	5,5
8	100,0	45	8 500	610	280	280	5,3
9	75,0	45	9 900	700	310	325	5,6
10	75,0	45	9 600	690	255	305	5,4
11	75,0	45	9 950	755	275	310	5,7
12	75,0	45	10 650	750	285	320	5,7
13	75,0	45	11 300	735	235	305	5,2

Таблица 3

Вариант	Замещение на БЦ, %	Продолжительность стоянки, мин	ρ , г/см ³	$F_{св}$, МПа	L_0 , м	EI , МН·см ²	E_1 , МПа	TEA, Дж/м ²	ε_p , %	$J_{с}$, кДж	S_i , Н/мм
1	57,3	30,0	0,87	1,264	9 000	502	7068	185	2,43	601	1010
2	57,3	60,0	0,92	1,273	8 100	527	6274	217	2,69	709	917
3	92,6	30,0	0,85	0,928	9 550	661	6590	239	2,88	753	1046
4	92,6	60,0	0,88	1,301	9 150	508	6599	255	2,94	783	953
5	75,0	23,8	0,94	1,209	8 500	322	6972	161	2,46	603	854
6	75,0	66,2	0,85	1,163	9 350	445	6619	204	2,77	839	945
7	50,0	45,0	0,79	0,760	7 600	548	7087	222	2,78	766	1008
8	100,0	45,0	0,90	1,001	8 000	536	6475	160	2,27	676	974
9	75,0	45,0	0,88	1,316	8 500	546	6306	221	2,73	683	937
10	75,0	45,0	0,91	1,429	9 000	570	6298	217	2,73	–	920
11	75,0	45,0	0,91	1,423	8 750	519	6106	223	2,76	812	897
12	75,0	45,0	0,93	0,885	8 550	522	6316	277	3,21	782	915
13	75,0	45,0	0,88	1,311	8 900	349	6926	247	3,05	770	911

требования существующего технологического регламента производства НСПЦ.

Как следует из табл. 3, полученная полуцеллюлоза по деформационным характеристикам сопоставима с сульфатной листовенной целлюлозой.

Математическая модель реализации двухфакторного ротатбельного композиционного равномерного плана второго порядка имеет следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2.$$

Значения коэффициентов уравнения регрессии аппроксимирующего полинома, адекватно описывающего процесс ($F_{расч} < F_{табл}$), для стандартных

Таблица 4

Коэффициенты	Значения коэффициентов уравнения для стандартных характеристик полуцеллюлозы						
	Выход ЦВВ	Число Каппа	L , м	Π , кПа	RCT	CMT	SCT, кН/м
					H		
b_0	87,00	120,0	10300	726,00	313,10	272,07	5,52
b_1	1,99	2,0	166	-6,04	-6,34	-6,60	-0,17
b_2	3,99	10,8	-201	-5,91	-7,10	-3,12	-0,06
b_{12}	4,50	-12,5	260	-12,50	-10,00	1,25	-0,10
b_{11}	-2,88	-14,9	-176	28,70	12,45	11,67	0,15
b_{22}	-3,14	17,6	-372	-28,80	2,45	7,93	0,03
Статистические показатели							
$R_{\text{мн}}$	0,33	0,94	0,99	0,85	0,79	0,75	–
$F_{\text{табл}}$	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59
$F_{\text{расч}}$	12,31	3,69	0,68	1,28	7,84	0,38	0,91

Таблица 5

Коэффициенты	Значения коэффициентов уравнения для деформационных характеристик полуцеллюлозы								
	ρ , г/см ³	$F_{\text{св}}$	EI	E_1	TEA	ϵ_p	J_{IC}	S_i	L_0
b_0	0,903	1,270	501,21	6392	236,8	2,900	609,5	916,03	8745,0
b_1	-0,003	0,040	5,6372	-160	13,6	0,100	59,1	-7,18	-10,3
b_2	0,012	0,004	15,50	-127	0,4	-0,003	12,2	3,40	276,0
b_{12}	-0,005	0,090	-44,75	201	-4,3	-0,050	-19,4	-0,20	126,0
b_{11}	-0,001	-0,003	-36,84	168	-17,6	-0,100	54,0	1,47	247,4
b_{22}	-0,026	-0,160	42,41	160	-13,5	-0,140	53,9	47,08	-321,0
Статистические показатели									
$R_{\text{мн}}$	–	–	0,97	0,98	0,95	–	0,95	0,91	0,99
$F_{\text{табл}}$	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59	6,59
$F_{\text{расч}}$	4,55	0,42	0,64	0,21	1,80	1,05	6,11	13,34	5,45

и деформационных характеристик полуцеллюлозы представлены в табл. 4, 5. Высокие численные значения коэффициентов множественной корреляции $R_{\text{мн}}$ свидетельствуют о достаточной точности аппроксимации.

Для характеристик жесткости коэффициенты при квадратичных эффектах положительны, для характеристик прочности – отрицательны. Это свидетельствует о наличии минимума или максимума, т. е. подтверждается известный факт, что чрезмерное повышение продолжительности варки и увеличение добавки белого щелока нежелательно. Необходимо использовать оптимальный вариант.

Усиление интенсивности варки несколько снижает показатели прочности (L , Π) и жесткости (CMT, SCT), которые не выходят за пределы, регламентированные для классической моносульфитной варки.

Повышение значений варьируемых параметров отрицательно влияет на характеристики жесткости при растяжении и изгибе (S_i , EI).

Увеличение продолжительности варки приводит к росту значений показателей, характеризующих растяжимость материала (ϵ_p , TEA). В то же

время варьирование степени замещения моносulfита натрия белым щелоком практически не оказывает влияния на растяжимость образцов полуцеллюлозы.

Для показателей ρ и $F_{св}$ коэффициенты при x_{11}^2 имеют низкие значения, что предопределяет линейный характер зависимости.

Таким образом, по выходу лабораторные образцы соответствуют классической НСПЦ, а их физико-механические характеристики не ниже, чем у полуцеллюлозы, полученной в реальных производственных условиях.

Следующая задача данной работы – промышленные варки модифицированной полуцеллюлозы в производстве картона ОАО «Архангельский ЦБК».

Первый этап производственных испытаний был проведен в марте 2001 г. На одном из двух технологических потоков по производству полуцеллюлозы на установках «Пандия» применили модифицированный режим; второй поток работал по обычному режиму.

Выработка полуцеллюлозы на обоих потоках была одинаковой и составила 26,0 кг на один оборот дозатора. После замены моносulfитного варочного щелока на смесь крепкого и слабого белого щелоков при сохранении соотношения объемов 1 : 2 и рН 8,6 ... 8,8 объем жидкости, подаваемой в варочный аппарат, на первом потоке возрос на 0,5 м³/т. Показатели щелоков, используемых на обоих потоках, во время испытаний были практически постоянными. Температура варки по потокам изменялась в интервале 177 ... 180 °С при среднем значении для обоих потоков 178 °С. Показатели механической прочности модифицированного полуфабриката по сравнению с полуцеллюлозой классического способа варки снизились незначительно – на 3 ... 6 %.

Результаты, достигнутые на первом этапе производственных испытаний по модификации варки НСПЦ, доказали возможность затемнения массы предложенным способом без существенного изменения механических показателей полуцеллюлозы.

В мае 2001 г. (в период производства на КДМ-2 картона универсального) была запланирована повторная выработка на двух потоках полуцеллюлозы с целью окончательной оценки качества полуцеллюлозы и картона. При этом использовали варочный раствор с замещением 50 % моносulfита натрия на смесь крепкого и слабого белого щелока. Результаты определения физико-механических и деформационных характеристик картона, производимого во время выработки, представлены в табл. 6. Анализ свойств полученной полуцеллюлозы показал, что величина непровара после установки горячего размола для обоих потоков была практически одинаковой при близких значениях Каппа. Расход химикатов на обоих потоках был практически одинаковым и составил: моносulfит натрия – 0,51 м³/т, крепкий белый щелок – 0,18 м³/т, слабый белый щелок – 0,48 м³/т. Характеристики механической прочности полуцеллюлозы модифицированной варки

Таблица 6

Характеристика	Значение характеристики для различного времени отбора				
	14.05	15.05	16.05	17.05	среднее за выработку
Масса 1 м ² , г	148	150	146	145	147
Содержание НСПЦ, %	60,7	63,0	70,0	75,4	67,3
<i>П</i> , кПа	560	580	540	530	550
RCT, Н	252	286	257	242	259
<i>L</i> , м	<u>9 630</u>	<u>9 870</u>	<u>10 000</u>	<u>9 390</u>	<u>9 720</u>
	3 880	4 190	4 030	3 960	4 015
<i>E</i> ₁ , МПа	<u>3 313</u>	<u>4 302</u>	<u>4 329</u>	<u>4 606</u>	<u>4 138</u>
	1 804	1 959	1 945	1 946	1 914
<i>S</i> ₁ , Н/м	<u>1 034</u>	<u>1 047</u>	<u>1 002</u>	<u>959</u>	<u>1 011</u>
	442	477	448	409	444
<i>EI</i> , мН·см ²	<u>863</u>	<u>836</u>	<u>679</u>	<u>509</u>	<u>722</u>
	296	353	298	192	285
ε_p , %	<u>2,15</u>	<u>2,20</u>	<u>2,23</u>	<u>1,95</u>	<u>2,13</u>
	3,31	3,25	3,19	3,09	3,21

Примечание. В числителе приведены данные для образцов, испытанных в машинном направлении, в знаменателе – в поперечном.

по сравнению с классическим способом практически не ухудшились, а в конце периода выработки даже повысились: разрывная длина – 7750 м (против 7300 м по обычному способу), сопротивление продавливанию – 490 кПа (445 кПа), СМТ – 325 Н (290 Н), сопротивление раздиранию – 860 мН (810 мН).

При дальнейшем увеличении степени замещения моносульфита натрия белым щелоком (до 75 %) наблюдалось еще большее потемнение массы и улучшение механических свойств картона массой 160 г/м² с содержанием 55 ... 56 % полуцеллюлозы. Однако при варке с 75 %-м замещением моносульфита натрия наблюдалось увеличение выбросов летучих сернистых соединений, которое не удалось снизить без дополнительных инженерно-технических мероприятий. Также отмечено снижение баланса щелочи в связи со снижением расхода соды на варку полуцеллюлозы.

С сентября 2001 г. варка с замещением 50 ... 60 % моносульфита натрия смесью слабого и крепкого белого щелока используется на двух установках «Пандия» постоянно.

Таким образом, в ходе опытно-промышленной выработки была достигнута основная цель модификации варки полуцеллюлозы – потемнение массы при замещении не менее 50 %

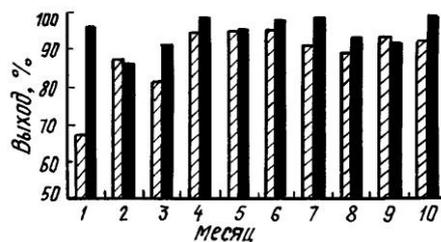


Рис. 1. Изменение качества бумаги для гофрирования марки Б-0 до (□) и после (▨) модификации варки (цифрами с 1 по 10 обозначены месяцы с июня по март)

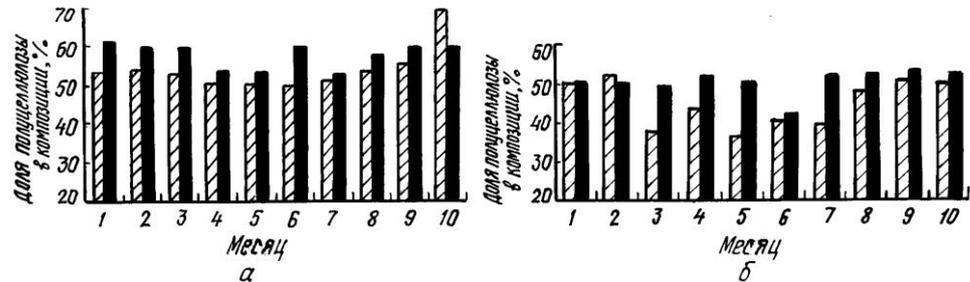


Рис. 2. Использование полуцеллюлозы в композиции бумаги для гофрирования (а) и картона (б) универсального (см. обозначения на рис. 1)

моносulfита смесью крепкого и слабого белого щелока без существенного изменения показателей полуцеллюлозы и ухудшения физико-механических свойств картона универсального и бумаги для гофрирования. Кроме того, выпуск бумаги для гофрирования марки Б-0 увеличился в среднем с 88,9 до 95,1 % (рис. 1). Отмечено снижение в несколько раз отбраковки по сопротивлению плоскостному сжатию и светлым полосам. Выход полуцеллюлозы из древесины практически не изменился и в среднем составил 78 %.

Использование полуцеллюлозы в композиции бумаги для гофрирования увеличилось в среднем с 52,3 до 57,6 %, картона универсального – с 44,2 до 50,2 % (рис. 2). Затемнение полуцеллюлозы позволило повысить ее долю и в композиции картона на КДМ-1 без ухудшения внешнего вида.

Таким образом, использование картона и бумаги для гофрирования с содержанием в композиции до 55 ... 60 % модифицированного полуфабриката для производства гофрокартона и тары не вызвало ухудшения их качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданович Н.И. Расчеты в планировании эксперимента: Учеб. пособие. – Л.: РИО ЛТА, 1978. – 80 с.
2. Влияние различных модификаций нейтрально-сульфитной варки на физико-механические свойства полуцеллюлозы / Е.В. Дьякова, Л.А. Миловидова, В.И. Комаров и др. // Лесн. журн. – 2002. – № 6. – С. 116–121. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Галеева Н. А. Производство полуцеллюлозы и целлюлозы высокого выхода. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 320 с.
4. Пен Р.З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства: Учеб. пособие. – Красноярск: Изд-во КГУ, 1982. – 192 с.

Архангельский государственный
технический университет

ОАО «Архангельский
целлюлозно-бумажный комбинат»

Поступила 21.11.02

*E.V. Dyakova, V.I. Komarov, A.V. Gurjev, V.P. Elkin,
V.I. Gorshkov, N.A. Kaunikhin*

**Development and Introduction of Semi-finished Product Cooking
Technology for Containerboard**

Technology of producing containerboard using modified types of semichemical pulp in composition has been developed.
