

УДК 676.16.021.363

В. И. Темрук, ген. директор (ПУП «Бумажная фабрика» Гознака);
Т. В. Соловьева, профессор (БГТУ); А. Н. Кашин, аспирант (БГТУ)

ТЕХНОЛОГИЯ СОВМЕСТНОГО РАЗМОЛА СУЛЬФАТНОЙ ХВОЙНОЙ И СУЛЬФАТНОЙ ЛИСТВЕННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗ

В статье кратко описана технология размола целлюлозы при переменной частоте вращения ротора размалывающего оборудования (Variable rotation frequency of rotor of pulping machinery). Предложено использовать термин «размол по технологии VRFRPM». В начале статьи кратко описаны теоретические положения, касающиеся особенностей процесса размола целлюлозы при переменной частоте вращения ротора дисковой мельницы. Далее описан ход лабораторных исследований размола по технологии VRFRPM. Приведены данные о изменении параметров бумажной массы, фракционном составе, затратах электроэнергии, полученные при различной частоте вращения. Затем описаны опытно-промышленные испытания технологии размола VRFRPM на бумагоделательной машине № 2 ПУП «Бумажная фабрика» Гознака при производстве бумаги со светлым водяным знаком, приведены их результаты. Показаны преимущества данной технологии в сравнении с традиционным способом размола.

In article the technology refining cellulose is short described at variable frequency of rotation of a rotor of the grinding equipment (Variable rotation frequency of rotor of pulping machinery). It is offered to use the term «refining on technology VRFRPM». In article beginning the theoretical positions, concerning features of process refining cellulose are short described at variable frequency of rotation of a rotor of a disk mill. Further the course of laboratory researches размола on technology VRFRPM is described. The data about change of parameters of paper weight, fractional structure, the electric power expenses, the rotations received at various frequency is cited. Then trial tests of technology refining VRFRPM on papermaking machine № 2 Paper mill of Gznak are described by manufacture of a paper with a light watermark, their results are resulted. Advantages of the given technology in comparison with traditional way refining are shown.

Введение. К основным факторам, определяющим процесс размола волокнистых материалов, его скорость, экономичность и направление или характер размола, относятся: продолжительность размола, удельное давление при размоле, концентрация массы, вид размалывающей гарнитуры, окружная скорость размалывающих органов, рН массы, температура массы, влияние гидрофильных добавок [1, 2, 3].

Из опыта работы предприятий, выпускающих бумагу с водяным знаком, известно, что требования к параметрам бумажной массы при изготовлении бумаги с различными видами и размерами водяного знака, существующими технологиями размола выполнить затруднительно. Для удовлетворения этих требований нами предлагается при разработке конкретных режимов размола в качестве основного управляемого фактора использовать частоту вращения ротора размалывающих мельниц. В литературных источниках по размолу бумажной массы применение этого фактора в качестве оперативного, то есть изменяемого в процессе работы, практически не рассматривается.

Одним из объектов исследования выбран процесс размола хвойной и лиственной блененной сульфатной целлюлозы при переменной частоте вращения ротора размалывающего оборудования (Variable rotation frequency of rotor of pulping machinery). Далее предлагается использовать название: «размол по технологии VRFRPM».

Основная часть. Цель работы – выбор режима размола сульфатной хвойной блененной и сульфатной лиственной блененной целлюлозы при производстве бумаги с водяным знаком. Ранее для управления длиной волокна, степенью помола, а также фракционным составом бумажной массы нами предложено использовать изменение частоты вращения ротора дисковой мельницы [4]. Мы доказали [4], что удельный расход электроэнергии на фибриллирование в диапазоне 700–1350 мин⁻¹ для хвойной целлюлозы существенно выше, чем для лиственной. Для хвойной целлюлозы удельный расход электроэнергии на фибриллирование составляет 6,18 Вт · ч · 10⁻³/°ШР · г, для лиственной это значение равно 4,2 Вт · ч · 10⁻³/°ШР · г. При частоте вращения 2000 мин⁻¹ значения удельного расхода электроэнергии на фибриллирование близки для хвойной и лиственной целлюлозы (для хвойной целлюлозы – 4,57 Вт · ч · 10⁻³/°ШР · г, для лиственной – 4,33 Вт · ч · 10⁻³/°ШР · г). Удельный расход электроэнергии на укорочение волокон во всем исследуемом диапазоне 700–2000 мин⁻¹, наоборот, ниже для хвойной целлюлозы, а для лиственной целлюлозы выше. Для хвойной целлюлозы удельный расход электроэнергии на укорочение волокон в среднем составляет 2,49 Вт · ч · 10⁻³/дг · г, для лиственной целлюлозы 6,06 Вт · ч · 10⁻³/дг · г.

При пониженной частоте вращения ротора мельницы на каждый межножевой контакт приходится больше энергии, следовательно, укорочение волокна реализуется, что и под-

тверждается минимальным удельным расходом электроэнергии на укорочение волокон.

Для лиственной целлюлозы удельные расходы на фибриллирование и укорочение при частоте вращения ротора мельницы 1350 и 2000 мин⁻¹ сопоставимы по абсолютному значению, что говорит о том, что размол этой целлюлозы при указанных частотах идет практически одинаково в направлениях фибриллирования и укорочения. Для лиственной целлюлозы снижение частоты вращения ротора мельницы несущественно влияет на укорочение, тогда как повышение частоты вращения значительно повышает фибрилляцию волокон [4].

В лабораторных условиях оценено влияние частоты вращения ротора лабораторной дисковой мельницы ЛКР-1 на основные бумагообразующие свойства бумажной массы при совместном размолу сульфатной беленой хвойной и лиственной целлюлозы и свойства бумаги, полученной из массы, размолотой по технологии VRFRPM.

Для исследования были взяты целлюлоза сульфатная хвойная беленая производства

фирмы VOTNIA (Финляндия) и лиственная производства Котласского ЦБК. Исследовалось три композиции по волокну. Содержание хвойной целлюлозы составляло 40, 50 и 60%, лиственной, соответственно, 60, 50 и 40%. Время размолы массы 30 мин, межножевой зазор 0,2 мм, концентрация массы при размолу 4%, частота вращения ротора мельницы 1000 и 1500 мин⁻¹, навеска целлюлозы 100 г.

Характеристика размолотой массы приведена в табл. 1.

Для размолотой целлюлозы определяли: степень помола (°ШП), средневзвешенную длину волокна (дг), скорость обезвоживания (мл/с), расход электроэнергии на размол (Вт · ч). Рассчитывали условный удельный расход энергии на фибриллирование U_{ϕ} и укорочение волокон U_{γ} [2]. Дополнительно на фракционаторе Messer Buehel Bauer McNett определяли фракционный состав размолотой бумажной массы.

Как видно из табл. 1, удельные расходы электроэнергии подтвердили выявленные ранее закономерности.

Таблица 1

Характеристика бумажной массы с различной композицией, размолотой по технологии VRFRPM в лабораторных условиях

Номер композиции	Содержание беленой сульфатной целлюлозы, %		Частота вращения ротора мельницы, мин ⁻¹	Степень помола массы, °ШП	Средневзвешенная длина волокна, дг	Скорость обезвоживания, мл/с	Расход электроэнергии на размол, Вт · ч	Удельный расход электроэнергии на фибриллирование, U_{ϕ} , Вт · ч · 10 ⁻³ / °ШП · г	Удельный расход электроэнергии на укорочение, U_{γ} , Вт · ч · 10 ⁻³ / Дг · г	Количество волокна по фракциям, % (остаток на сите с размерами ячеек, мм)				
	хвойной	лиственной								F1 (1,19)	F2 (0,59)	F3 (0,29)	F4 (0,14)	F5*
1	40	60	Без размолы	19	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			1000	65	29	3,9	9	1,96	2,5	8	37	33	18	4
			1500	62	33	4,3	16	3,7	5,0	25	28	26	17	4
2	50	50	Без размолы	18	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			1000	50	39	3,4	9	2,8	2,6	10	38	30	15	7
			1500	53	44	4,2	14	4,0	4,8	28	30	26	10	6
3	60	40	Без размолы	17	81	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			1000	56	29	3,5	8	2,1	1,5	7	39	31	16	7
			1500	57	35	4,0	16	4,0	3,5	16	27	38	11	8

*Пятая фракция определялась по разнице:

$$100 - \sum_{i=1}^4 F_i,$$

где $\sum F_i$ – суммарное количество фракций 1–4.

Снижение частоты вращения ротора мельницы ведет к укорочению волокон для всех трех композиций бумажной массы и существенному изменению фракционного состава размоленной массы. Показатели бумажной массы ($^{\circ}$ ШП, дг), размоленной при различной частоте вращения ротора мельницы, существенно отличаются друг от друга для всех трех композиций, т. к. хвойная и лиственная целлюлозы по разному размалываются по технологии VRFRPM. Скорость обезвоживания массы для всех вариантов изменяется незначительно и имеет низкие значения, что определяет пригодность массы всех вариантов для формования бумаги с водяными знаками. При содержании хвойной целлюлозы 40% размоленная бумажная масса имеет более высокую степень помола и меньшую длину волокна, чем для других композиций. Это определяется большим содержанием коротковолокнистой лиственной целлюлозы. Необходимо обратить внимание, что суммарное содержание фракций F2 и F3, определяющих контрастность водяных знаков, для этой композиции при размоле с частотой вращения ротора 1000 мин⁻¹, практически такое же, как и для других композиций (70% для композиции 1, 68% для композиции 2 и 70% для композиции 3 при содержании хвойной целлюлозы 40, 50 и 60% соответственно).

При размоле с частотой вращения ротора мельницы 1500 мин⁻¹ суммарное содержание фракций F2 + F3 для каждой из композиций разное и составляет 54% для композиции 1, 56% для композиции 2 и 65% для композиции 3.

Для композиций 2 и 3 размол с частотой вращения ротора мельницы 1000 мин⁻¹ также обеспечивает повышенное содержание фракций F2 + F3, при существенном снижении фракции

F1 и незначительном росте содержания фракций F4 + F5.

Из сказанного выше следует, что применение технологии размола VRFRPM позволяет получить размоленную массу с лучшим фракционным составом для формования водяных знаков.

Показатели качества бумаги, изготовленной из размоленной массы по всем шести вариантам, приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что для всех вариантов по композиции и условиям размола бумага имеет высокие значения показателей прочности (сопротивление разрыву, разрывную длину, поглощение энергии при разрыве). Причем, для композиции 50%-ной хвойной целлюлозы эти показатели выше при размоле с пониженной частотой вращения ротора – 1000 мин⁻¹ (вариант 3), а для других композиций – с повышенной частотой вращения ротора 1500 мин⁻¹ (варианты 2 и 6 против 1 и 5 соответственно). Известно, что удлинение при разрыве и сопротивление излому больше других показателей зависят от длины волокон, тем не менее они тоже имеют максимальное значение для варианта 3, а не для варианта 4, для которого и средневзвешенная длина волокна, и содержание самой длиноволокнистой фракции F1 выше, чем для варианта 3.

Следовательно, правильно проведенный размол по технологии VRFRPM обеспечивает не только хорошие условия для формования водяного знака, но и высокие прочностные свойства бумаги.

Опытно-промышленные испытания технологии размола VRFRPM проводились на бумагоделательной машине № 2 ПУП «Бумажная фабрика» Гознака при производстве бумаги со светлым водяным знаком массой 1 м² 75 г.

Таблица 2

Показатели качества бумаги, изготовленной из бумажной массы с различной композицией, размоленной по технологии VRFRPM

Номер варианта	Содержание беленой сульфатной целлюлозы, %		Частота вращения ротора мельницы, мин ⁻¹	Сопротивление разрыву, КН/м	Разрывная длина, км	Удлинение при разрыве, %	Поглощение энергии при разрыве, дж/м ²	Сопротивление излому, (число двойных перегибов), ч. д. п.	Жесткость при разрыве, КН/м
	хвойная	лиственная							
1	40	60	1000	70,2	5,97	2,00	64,05	79	517,6
2			1500	74,2	6,31	2,17	74,64	83	538,4
3	50	50	1000	93,4	7,94	2,36	102,96	102	675,6
4			1500	88,4	7,51	2,32	95,02	98	673,7
5	60	40	1000	71,1	6,04	1,84	62,71	85	566,9
6			1500	75,9	6,45	2,15	75,42	92	571,9

Значения частот вращения роторов мельниц и композиция по волокну для всех четырех вариантов опытной выработки приведены в табл. 3.

Таблица 3
Композиция и режимы размол по вариантам опытной выработки

Номер варианта* и его характеристика	Содержание в композиции целлюлозы, %		Частота вращения ротора, мин ⁻¹ , для мельниц			
	хвойной	лиственной	1	2	3	4
1-й – контрольный	40	60	1450	1450	1450	1450
2-й – опытный	40	60	1200	1300	1450	1750
3-й – контрольный	60	40	1450	1450	1450	1450
4-й – опытный	60	40	1200	1300	1450	1750

*Номера вариантов в табл. 3 соответствуют номерам вариантов в табл. 4, 5, 6.

Размол проводился на четырех дисковых мельницах МД-00М, установленных последовательно. Мельницы 1, 2 и 4 оборудованы станциями автоматического управления с частотными преобразователями L 300 P HFEZ, позволяющими изменить частоту вращения двигателя мельницы $\pm 50\%$ от номинальной (1450 мин⁻¹).

Для опытных вариантов 2 и 4 выбран одинаковый режим VRFRPM, чтобы сравнить показатели качества бумаги при различной ее композиции.

В табл. 4 приведены параметры бумажной массы после каждой из мельниц и фракционный состав размолотой массы по каждому из вариантов. Как видно из табл. 4, для опытного варианта 2, содержащего 40% беленой сульфатной хвойной целлюлозы и 60% беленой сульфатной лиственной целлюлозы, предложенная технология размол обеспечила существенное увеличение фракции F2 + F3, равное 61%, при 53% для контрольного варианта 1.

При этом содержание длиноволокнистой фракции для варианта 2 хотя и снизилось, по сравнению с вариантом 1, но осталось достаточно высоким – 16%.

Для композиции, содержащей 60% беленой сульфатной хвойной целлюлозы и 40% беленой сульфатной лиственной целлюлозы, фракционный состав приблизительно одинаков для контрольного и опытного вариантов. Так содержание фракции F2 + F3 у них достаточно высокое (60 и 63% соответственно), при содержании мелких фракций 29 и 26% и равном содержании фракции F1 – 11%.

В табл. 5 приведены показатели качества бумаги по каждому из вариантов, а в табл. 6 – значения контрастности водяного знака.

Из табл. 5 и 6 видно, что для всех вариантов бумага имеет высокие значения показателей прочности (разрывная длина и сопротивление излому). Бумага по варианту 1 имеет разрывную длину больше, чем по вариантам 3 и 4, хотя для последних содержание хвойной целлюлозы выше, чем для первого варианта. Скорее всего, это можно объяснить тем, что по вариантам 3 и 4 масса содержит меньшее количество длинного волокна (фракция F1). Но зато для варианта 1 отмечены худшие значения важных показателей качества, таких как линейная деформация (3,3% против 2,0–2,9% по вариантам 2–4), стойкость поверхности к выщипыванию, и, что особенно важно, – контрастность водяного знака.

Лучшие значения контрастности водяного знака при низкой линейной деформации имеют оба опытных варианта. Опытный вариант 4 при этом имеет максимальную контрастность водяного знака и прочность поверхности к выщипыванию.

По опытному варианту 2 проведение размол по многоступенчатой технологии VRFRPM обеспечило приемлемые значения прочностных показателей при обеспечении высоких значениях печатных свойств и контрастности водяного знака.

Таблица 4
Показатели бумажной массы, полученной по технологии многоступенчатого размол VRFRPM

Номер варианта	Значения степени помола массы, °ШР, и средне-взвешенной длины волокна, дг, после мельницы								Фракционный состав размолотой бумажной массы, % (с разных ячеек сита, мм)				
	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4		F1	F2	F3	F4	F5
	°ШР	дг	°ШР	дг	°ШР	дг	°ШР	дг	(1,19)	(0,59)	90,29)	(0,14)	(менее 0,14)
1	25	58	46	51	58	45	65	40	24,0	27,0	26,0	17,0	6,0
2	28	59	45	50	55	45	59	42	16,0	39,0	22,0	15,0	8,0
3	32	6	49	56	58	50	66	44	11,0	33,0	27,0	17,0	12,0
4	24	64	41	50	53	46	59	42	11,0	38,0	25,0	17,0	9,0

Таблица 5

Показатели качества бумаги, изготовленной по технологии многоступенчатого размола VRFRPM

Номер варианта	Разрывная длина в среднем по двум направлениям, км	Зольность, %	Степень проклейки, мм	Линейная деформация, %	Сопротивление излому, ч. д. п.	Стойкость поверхности к выщипыванию, по Денисону, номер теста
1	4,50	9,9	2,0	3,3	45	14
2	4,00	9,3	2,0	2,6	32	16
3	4,25	10,1	2,0	2,9	65	16
4	4,20	10,9	2,0	2,7	62	18

Таблица 6

Оптические свойства и контрастность водяного знака бумаги, изготовленной по технологии многоступенчатого размола VRFRPM

Номер варианта	Белизна, %	Оптическая плотность вне водяного знака, Б	Оптическая плотность по водяному знаку, Б	Коэффициент пропускания света вне водяного знака	Коэффициент пропускания света по водяному знаку	Контрастность водяного знака, %
1	86,0	0,54	0,45	0,288	0,355	23,3
2	86,5	0,56	0,45	0,275	0,355	29,1
3	84,9	0,55	0,45	0,281	0,355	26,3
4	85,2	0,56	0,44	0,275	0,363	32,0

Заключение. В результате проведенных исследований установлено следующее:

– частота вращения ротора размалывающего оборудования является эффективным оперативным фактором размола бумажной массы, используя который можно управлять характером размола и получать заданные значения степени помола и длины волокна;

– снижение частоты вращения ротора размалывающего оборудования увеличивает укорачивание волокон длинноволокнистых хвойных целлюлоз, а повышение – обеспечивает фибриллирование массы с незначительным снижением длины волокон;

– для коротковолокнистой лиственной целлюлозы изменение частоты вращения ротора размалывающего оборудования незначительно сказывается на характере размола, что позволяет при совместном размоле хвойной и лиственной целлюлозы управлять фракционным составом массы преимущественно воздействием на ее длинноволокнистую (хвойную) составляющую;

– технология размола бумажной массы VRFRPM позволяет при совместном размолу белой сульфатной хвойной и лиственной целлюлозы получить бумажную массу с фракционным составом, обеспечивающим повышенные значения показателей прочно-

сти бумаги, включая прочность поверхности к выщипыванию и высокую контрастность водяных знаков;

– проведен размол бумажной массы по технологии VRFRPM при изготовлении бумаги со светлыми водяными знаками. Опытная бумага отличается улучшенными значениями основных показателей качества и повышенной контрастностью водяного знака.

Литература

1. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. / редкол.: П. Осипов [и др.]. – СПб.: Политехника, 2005. – Т. 2: Производство бумаги и картона. Ч. 1: Технология производства и обработки бумаги и картона–2005. – 423 с.
2. Иванов, С. Н. Технология бумаги: учебник / С. Н. Иванов. – М.: Лесная пром-сть, 1970. – 695 с.
3. Фляте, Д. М. Свойства бумаги: учебник / Д. М. Фляте. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 680 с.
4. Соловьева, Т. В. Влияние скорости вращения ротора дисковой мельницы на затраты энергии при размолу / Т. В. Соловьева, В. И. Темрук, А. Н. Кашин // Труды БГТУ. Сер. IV, Химия, технология орган. в-в и биотехнология. – 2009. – Вып. XVII. – С. 298–302.

Поступила 26.03.2010