

А. Н. Кашин, аспирант; В. И. Темрук, канд. техн. наук;
Т. В. Соловьева, профессор

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ДИСКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ НА ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ ПРИ РАЗМОЛЕ

Theoretical bases refining cellulose on disk mills with metallic bars are resulted. Process factors refining are described and classified. The special attention is given such factor of process refining as frequency of rotation of a rotor of a mill. A definite purpose of described researches. Factors changed and supervised during experiment are described. Some features of a paper with watermarks and possible difficulties are considered by its manufacture. Laboratory installation on which experiments were made is described. The data received after carrying out of researches are cited. Conclusions on influence of each variable factor on an end result are drawn. Influence of frequency of rotation of a rotor of a mill on parameters of the ground cellulose and an energy expense is most in detail considered at размол. In the conclusion the basic results and conclusions are generalized.

Введение. Размол целлюлозы является одним из важнейших процессов бумажного производства. Назначение процесса размола – придать целлюлозному волокну определенные структуру и размеры по длине и толщине, сделать волокна гибкими и пластичными и сообщить им определенную степень гидратации. Это необходимо для того, чтобы не только обеспечить прочную связь между волокнами в бумажном листе, хорошее формование (просвет), но и позволяет в широком интервале значений изменять многие свойства бумаги [1].

Принцип размола заключается в том, что волокнистая суспензия непрерывным потоком поступает к ножам рабочего органа аппарата, состоящего из неподвижно закрепленных ножей (статора) и вращающихся ножей, которые находятся на диске (роторе). Ножи размалывающей гарнитуры расположены так, чтобы расстояние между ними позволяло транспортировать волокна через мельницу [2].

На рис. 1 показаны все стадии процесса размола [3]. Вначале (рис. 1, поз. 1) пучки волокон собираются на передней кромке ножа

ротора. На этой стадии концентрация массы обычно составляет 3–5%, т. е. основной компонент волокнистой суспензии – вода. Когда передняя кромка ножа ротора приближается к передней кромке ножа статора (рис. 1, поз. 2), пучок волокон получает сильнейший удар. В результате из него отжимается значительная часть воды, которая направляется в углубления между ножами. Вместе с водой транспортируются короткие волокна, обладающие низкой способностью к образованию комочков. Волокна, зажатые между ножами ротора и статора, подвергаются размалывающему воздействию.

На следующей стадии (рис. 1, поз. 3) передние кромки ножей ротора и статора двигаются вдоль плоской поверхности противоположного ножа по пучкам волокон. На этой стадии происходит наибольшее размалывающее воздействие на волокна. Это вызвано не только усилием кромок ножей, которые механически укорачивают волокна, но и трением между волокнами. Эта стадия продолжается до тех пор, пока передние кромки не достигнут задних кромок противоположных ножей (рис. 1, поз. 4).

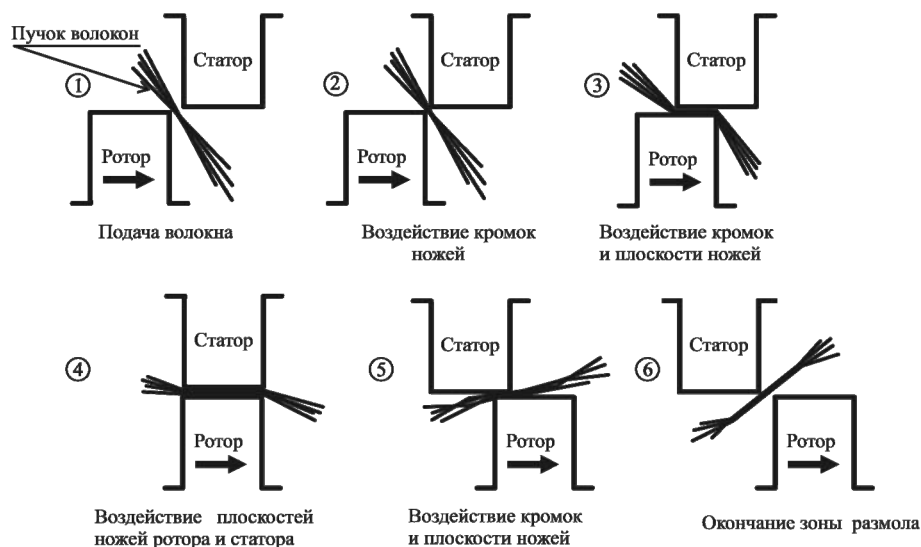


Рис. 1. Схема действия ножей размалывающего аппарата

На следующей стадии (рис. 1, поз. 5), когда задние кромки ножей ротора и статора двигаются вдоль плоской поверхности противоположного ножа по пучкам волокон, в основном идет процесс фибриллирования волокон. Фибрилляция волокна заключается в полном или частичном отделении от волокна фибрилл, что приводит к увеличению наружной поверхности волокна и числа свободных гидроксидов на его поверхности. Эти свободные гидроксиды в последующих стадиях производства бумаги участвуют в образовании водородных связей [4].

Процесс размола заканчивается, когда задние кромки ножей ротора и статора отдаляются друг от друга (рис. 1, поз. 6).

Когда ножи ротора и статора пересекаются, в углублениях между ножами возникают сильные вихревые потоки (рис. 2). Собственно из-за этих потоков на кромках ножей и возникают «нависания» пучков волокон [3].

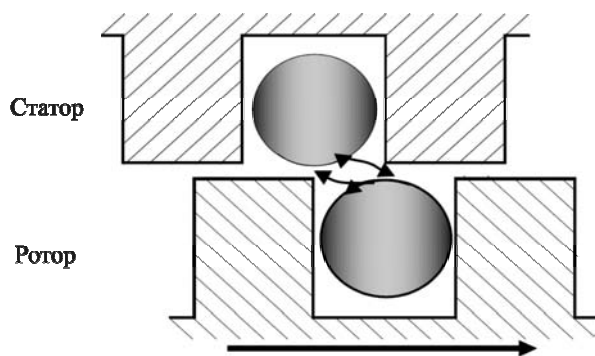


Рис. 2. Вихревые потоки между ножами

Канавки должны иметь определенные размеры ширины и глубины. Если канавка будет очень глубокой, на кромках ножей не будет происходить накапливание пучков волокон. Если ширина канавки будет меньше длины волокон, не возникнет вихревой поток – канавки забьются [3].

Факторы процесса размола разделяются на три группы:

1) контролируемые переменные – объем потока, концентрация, рН и температура массы, давление в корпусе мельницы, концентрация электролитов;

2) активные переменные – зазор между дисками (нагрузка или «присадка» мельницы), а в случае установки частотного привода на электродвигателе, также и частота вращения ротора;

3) пассивные переменные – геометрия гарнитуры (угол наклона ножей, число ножей, материал и его микроструктура и т. д.), частота вращения ротора (при отсутствии частотного привода) [1].

Частота вращения размалывающих органов мельницы изучена менее других факторов процесса размола. Данный фактор, как правило, не используется на предприятиях, выпускающих

бумажную продукцию. Одна из причин – высокая стоимость частотных приводов.

Основная часть. Цель исследований заключалась в определении влияния частоты вращения привода дисковой мельницы при размоле на параметры целлюлозы: степень помола, изменение длины волокна, а также расход электроэнергии. Результаты исследований используются в промышленных условиях при производстве бумаги на ПУП «Бумажная фабрика» Гознака Беларуси. Пассивный фактор процесса размола – частота вращения ротора дисковой мельницы – будет переведен в активный. В первую очередь, планируется использовать частотные приводы для дисковых мельниц МД-00М технологического потока бумагоделательной машины № 2 (БДМ № 2). Производительность этого потока невысокая – 2,0–2,5 т бумаги в сутки, поэтому и затраты на частотные приводы будут небольшими.

На БДМ № 2 выпускается бумага с водяным знаком. Эта бумага имеет некоторые особенности:

- бумажная масса размалывается до 50–60°ШР (для печатных и массовых видов бумаги степень помола обычно не выше 35–40°ШР);

- водяные знаки отличаются по типу (светлые, темные, полутонные), по рисунку, ширине и глубине выступающих и пробельных элементов. Для разных видов водяных знаков используется различная композиция бумажной массы. Данные отличия могут быть не очень значительными, но требуется точно их выдерживать. Например, для одного вида бумаги с водяным знаком нужна бумажная масса со степенью помола 55–57°ШР и длиной волокна 35–40 дцг, а для другого вида – бумажная масса со степенью помола 50–55°ШР и длиной волокна 40–45 дцг. Для печатных и массовых видов бумаги такая точность в соблюдении параметров бумажной массы не требуется.

Другими словами, специфика производства бумаги на БДМ № 2 следующая: выпуск бумаги, близкой по свойствам, требует разной подготовки бумажной массы для каждого ее вида. Добиться этого только при помощи имеющихся факторов процесса размола, на которые оперативно может повлиять технолог (композиция и концентрация бумажной массы, а также зазор между дисками мельницы), очень непросто. Приходится иметь несколько комплектов размалывающей гарнитуры для разных видов бумаг.

Исследования частоты проводились на лабораторной установке ЛКР-1, которая состоит из лабораторного гидроразбивателя ЛГ-3 и научной дисковой мельницы НДМ-3. Конструкция мельницы НДМ-3 позволяет останавливать процесс размола в любой момент, отбирать бумажную массу для проведения испытаний и возвращать ее обратно. Электродвигатель НДМ-3 оснащен частотным приводом и счетчиком электрической энергии, затрачиваемой на разمول.

Концентрация массы 4% выбрана по методике, предложенной фирмой-изготовителем ЛКР-1. Для исследований взяты две целлюлозы сульфатная (СФА) хвойная производства компании BOTNIA (Финляндия) и сульфатная лиственная производства компании ILIM PULP (Россия). В процессе исследований изменяли частоту вращения двигателя мельницы от 700 до 2000 об/мин, расстояние между дисками размалывающей гарнитуры – от 0,2 до 0,4 мм и время размола – от 15 до 45 мин. Для размолотой массы определяли степень помола в градусах Шопер – Риглера (°ШР), длину волокна по методу Иванова в дециграммах (дцг) и расход электроэнергии на размол в ваттах (Вт). Результаты исследований размола сульфатной хвой-

ной и сульфатной лиственной целлюлозы представлены в таблице.

Удельный расход электроэнергии на размол рассчитан по стандартной методике. Дополнительно мы вычислили удельный расход электроэнергии на укорочение волокон целлюлозы, заменив в формуле расчета значение степени помола (°ШР) на значение средне-взвешенной длины волокна (дцг).

Влияние времени размола. С увеличением времени размола степень помола и хвойной и лиственной целлюлозы повышается, длина волокна уменьшается, расход электроэнергии растет (что вполне естественно). Кроме времени размола на интенсивность процесса влияют также величина межножевого зазора и частота вращения ротора мельницы.

Таблица

Параметры размола целлюлозы

Частота вращения, об/мин	Величина межножевого зазора, мм	Время размола, мин	Сульфатная хвойная целлюлоза				Сульфатная лиственная целлюлоза			
			Степень помола, °ШР	Средне-взвешенная длина волокна, дцг	Удельный расход электроэнергии		Степень помола, °ШР	Средне-взвешенная длина волокна, дцг	Удельный расход электроэнергии	
					$\frac{\text{Вт}\cdot\text{г}\cdot 10^{-2}}{^\circ\text{ШР}}$	$\frac{\text{Вт}\cdot\text{г}\cdot 10^{-2}}{^\circ\text{ШР}}$			$\frac{\text{Вт}\cdot\text{г}\cdot 10^{-2}}{^\circ\text{ШР}}$	$\frac{\text{Вт}\cdot\text{г}\cdot 10^{-2}}{^\circ\text{ШР}}$
До размола			14	130	–	–	14	49	–	–
700	0,2	15	16	91	7,69	1,59	20	30	4,29	4,14
		30	18	72			34	24		
		45	27	67			42	20		
	0,3	15	15	112	11,25	3,14	17	36	4,14	4,80
		30	17	102			28	31		
		45	22	95			43	24		
	0,4	15	15	117	18,00	3,21	15	41	5,45	5,22
		30	16	107			26	33		
		45	19	102			36	26		
1350	0,2	15	27	88	4,67	2,92	32	32	4,13	7,04
		30	46	72			49	26		
		45	59	58			60	22		
	0,3	15	25	82	4,67	3,44	32	35	4,15	6,67
		30	38	79			52	22		
		45	59	69			67	16		
	0,4	15	17	91	6,90	4,54	26	30	7,50	8,40
		30	29	89			34	24		
		45	43	86			42	24		
2000	0,2	15	35	76	4,57	2,96	47	15	4,73	7,00
		30	71	46			76	8		
		45	84	22			88	0		
	0,3	15	27	104	5,85	5,34	34	22	5,38	7,37
		30	66	85			55	15		
		45	67	72			66	10		
	0,4	15	21	100	7,33	7,33	32	25	6,28	7,71
		30	43	89			46	18		
		45	59	85			57	14		

Влияние величины зазора между ножами размалывающей гарнитуры ротора и статора (межножевого зазора). Увеличение межножевого зазора снижает интенсивность процесса размола как хвойной, так и лиственной целлюлозы. При повышении межножевого зазора степень помола уменьшается, укорачивание волокон проходит менее интенсивно. Удельный расход энергии при этом увеличивается как на повышение степени помола, так и на укорачивание волокон целлюлозы. Использование межножевого зазора при его значении менее чем на 0,2 мм также нецелесообразно: суспензия целлюлозы перестает циркулировать между дисками гарнитуры, нагрузка на двигатель достигает критических значений (95–100%).

Влияние частоты вращения ротора мельницы. При низких оборотах ротора мельницы и хвойная и лиственная целлюлоза преимущественно укорачивается. Увеличение частоты вращения ротора мельницы повышает степень помола целлюлозы, снижение длины волокон целлюлозы при этом идет менее интенсивно.

То, что при повышенных оборотах степень помола целлюлозы увеличивается без значительного укорачивания волокон, достаточно важный фактор. Добиться такого эффекта, изменяя или зазор между размалывающими дисками, или концентрацию бумажной массы, или оба этих фактора одновременно, невозможно. Разработать

металлическую размалывающую гарнитуру для стандартной дисковой мельницы с эффектом только фибриллирования также затруднительно. Снижение ширины канавок между ножами гарнитуры приведет к значительному ухудшению гидродинамики процесса, поскольку канавки будут очень быстро забиваться бумажной массой.

Кроме этого, проведение размола при разном количестве оборотов позволило нам установить интересную закономерность. Расход энергии на увеличение степени помола для сульфатной хвойной целлюлозы выше, чем для лиственной – это общепризнанный факт. А вот расход энергии на укорачивание значительно выше для сульфатной лиственной целлюлозы, что показалось нам несколько необычным. Хотя, если обратиться к теоретическим положениям, описанным во введении, это объяснимо. Длинные волокна жесткой сульфатной хвойной целлюлозы больше склонны к нависанию на краях ножей размалывающей гарнитуры, чем короткие и мягкие волокна сульфатной лиственной целлюлозы. Длина коротковолокнистой целлюлозы снижается медленнее, чем длинноволокнистой, поэтому удельный расход электроэнергии на укорачивание волокон больше для сульфатной лиственной целлюлозы.

Наглядно зависимость расхода электроэнергии на прирост степени помола и на укорачивание различных целлюлоз показана на рис. 3.

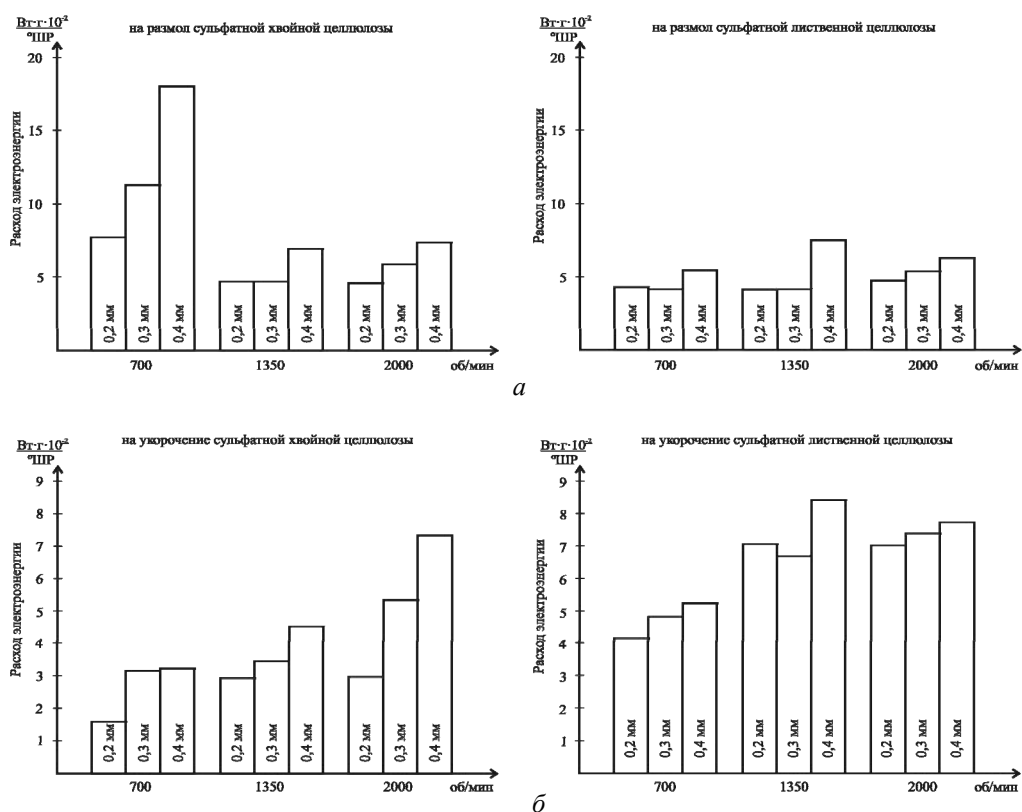


Рис. 3. Удельный расход энергии на размол целлюлозы: а – на прирост степени помола; б – на укорачивание целлюлозы

Заключение. В результате проведенных исследований установлены закономерности влияния частоты вращения привода мельницы при размоле на параметры целлюлозы:

– снижение частоты вращения ротора мельницы усиливает «рубку» волокна, увеличение оборотов повышает фибриллирование целлюлозы;

– затраты энергии на укорачивание сульфатной лиственной целлюлозы выше, чем для сульфатной хвойной целлюлозы;

– использование частоты вращения привода мельницы в качестве активного фактора процесса размолы значительно упростит получение бумажной массы с точно заданными параметрами по степени помола и длине волокна;

– рекомендуемая величина межножевого зазора для исследований процесса размолы на аппарате ЛКР-1 составляет 0,2 мм.

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. Paulapuro, H. Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End / H. Paulapuro // TAPPI. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 15 Technology Park-way S., Norcross, GA 30092, USA. – 2000. – P. 457.

4. Фляте, Д. М. Свойства бумаги: учебник / Д. М. Фляте. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 680 с.