

УДК 676.024.6

*Р.А. Марченко<sup>1</sup>, Ю.Д. Алашкевич<sup>2</sup>, В.И. Шуркина<sup>1</sup>  
(R.A. Marchenko<sup>1</sup>, Y.D. Alashkevich<sup>2</sup>, V.I. Shurkina<sup>1</sup>)**<sup>1</sup>Сибирский государственный технологический университет,  
Красноярск**<sup>2</sup>Институт химии и химической технологии СО РАН,  
Красноярск*

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ БЕЗНОЖЕВОГО РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ (INTENSIFICATION BEZNOZHEVOGO GRINDING FIBROUS MATERIALS)**

*Проанализированы способы разработки различных волокнистых материалов и экспериментально подтверждена целесообразность использования для размол вторичного волокнистого сырья безножевых способов размол на примере сравнения качественных показателей волокнистой массы после дисковой мельницы и после установки типа «струя – преграда».*

*The article analyzes the development of different ways of fibrous materials and experimentally confirmed the usefulness of the beating of the secondary fibrous raw materials milling beznozhevyyh methods by comparing quality indicators after the pulp mill and the disk after installation of the “jet-barrier.”*

### **Введение**

Одним из экологически перспективных и экономически привлекательных путей наращивания производства бумаги является использование в ее композициях вторичных волокон (оборотный брак, макулатура). Использование вторичного волокнистого сырья для производства бумаги и картона приводит к расширению сырьевой базы и уменьшению зависимости промышленных предприятий от обеспечения первичным волокнистым сырьем.

Главное следствие повторной переработки оборотного брака – это снижение физико-механических характеристик за счет нарастания жесткости волокон и пониженной их способности к набуханию, так как они в свое время уже подвергались ножевому размолу и в некоторых случаях претерпевали процесс более

или менее значительного старения. С учетом необратимости этих явлений развитие или восстановление бумагообразующих свойств и физико-механических характеристик требует дополнительных затрат. Поэтому необходимо применять наиболее рациональные технологии по переработке вторичного сырья.

В зависимости от способов производства волокнистых полуфабрикатов, исходного состояния сырья и с учетом переработки вторичного сырья применяются различные виды ножевого и безножевого размалывающего оборудования.

Наибольшее распространение в настоящее время получили ножевые размалывающие машины, такие как конические и дисковые мельницы. Однако в таких машинах волокна подвергаются сильным рубящим воздействиям и раздавливанию, что в конеч-

ном итоге приводит к снижению прочностных показателей готовой продукции и значительно затрудняет использование в производстве коротковолокнистых листовых пород древесины и оборотного брака.

Безножевой же размол по сравнению с ножевым обеспечивает более мягкий, щадящий режим обработки, что особенно важно для волокнистой суспензии из оборотного брака, которая уже однажды претерпевала стадию размол.

Постоянное совершенствование процесса размол и оборудования обусловлено прежде всего необходимостью обеспечения требуемого качества готовой продукции при снижении качества волокнистого сырья и полуфабрикатов, а также стремлением к снижению чрезмерно большого расхода энергии на размол.

*Лесопромышленный комплекс*

Безножевые способы обработки волокнистой массы еще недостаточно изучены. Поэтому при работе на аппаратах данного вида наряду с высокими физико-механическими показателями получаемой продукции затраты электроэнергии на размол еще значительны.

При анализе факторов, влияющих на разработку волокна в установке «струя – преграда», можно предположить, что определяющим являются кавитационные явления, имеющие место при контакте струи суспензии с преградой. К сожалению, до настоящего времени не в полной мере изучены процессы, протекающие при контакте струи суспензии с подвижной преградой, являющейся в безожевой установке лопастями турбины.

При использовании безожевого способа размолы мы стремимся усилить положительные факторы гидродинамических процессов на качество размолы волокнистых материалов и снизить затраты электроэнергии до пределов, близких к таковым у ножевых машин. Для этого следует выяснить механизм процесса размолы и исходя из этого влиять на этот процесс.

**Экспериментальная часть**

В лаборатории кафедры «Машины и аппараты промышленных технологий» Сибирского государственного технологического университета под руководством профессора Алашкевича Ю.Д. разработана установка для измельчения волокнистого мате-

риала, позволяющая повысить качество размолы за счет дозированного сочетания гидродинамической и механической обработки, что выгодно отличает ее от известных решений [1].

При изучении механизма воздействия на волокнистые материалы в аппаратах типа «струя – преграда» в работах предшествующих исследователей установлен ряд факторов, влияющих на интенсивность обработки: расстояние от насадки до преграды, скорость струи, концентрация и др. [2]. Найдены оптимальные параметры работы аппаратов данного типа, которые могут привести к значительному снижению энергозатрат на размол.

Возможность дальнейшего повышения качества обработки и производительности данной установки связано с необходимостью интенсификации гидродинамического воздействия на обрабатываемый материал.

Теоретическая и экспериментальная оценка сил, возникающих при лобовом ударе струи о преграду, а также касательных напряжений сдвига при растекании жидкости по преграде и при истечении её из насадки показала, что эти силы недостаточны для разрушения волокна. В результате были сделаны предположения о возможной разработке волокнистых материалов в комбинированной размольной установке за счет кавитационных явлений, возникающих при контакте струи с преградой [2].

Явление кавитации заключается в образовании разрывов сплошности пузырьков движущейся капельной жидкости в некоторых участках потока. Разрывы возникают в тех участках потока, где в результате перераспределения давления, обусловленного движением жидкости, значительное местное понижение давления.

Струя на протяжении своего полета имеет периодически повторяющиеся участки с различными скоростными характеристиками, т.е. струя пульсирует. При контакте пульсирующей струи с преградой она вызывает колебания преграды двух видов: собственные колебания преграды и ультразвуковые вследствие распространения волн напряжений в материале преграды. Частота ультразвуковых колебаний в преграде зависит от скорости набегающей струи (частоты пульсации струи), скорости распространения напряжений в различных материалах и геометрических размеров преграды.

Ультразвуковые колебания поверхности преграды обуславливают эффект кавитации в тонком растекающемся слое жидкости по преграде. При схлопывании пузырька жидкости у границы преграды развиваются значительные давления. Импульс сил этих давлений и является основным фактором, разрушающим волокна, находящиеся в слое жидкости вблизи с поверхностью преграды [2].

Для подтверждения эффекта кавитации автором [2] была

*Лесопромышленный комплекс*

произведена фотосъемка места контакта струи с преградой. В месте контакта на фотографии наблюдалось кавитационное облако, что, по мнению исследователей, свидетельствует о наличии эффекта кавитации. Для окончательного подтверждения кавитационных явлений были проведены исследования, в результате которых было доказано, что при контакте струи суспензии с преградой выделяется атомарный кислород, который с молекулами воды образует перекись водорода  $H_2O_2$ , что вызывает обесцвечивание раствора  $KMnO_4$ .

На интенсивность ультразвуковой кавитации оказывают существенное влияние характер движения струи и процесс контакта этой струи с преградой. Механизм воздействия на волокно при контакте струи с преградой зависит от многих факторов, в числе которых немаловажную роль играет частота контактов струи с преградой, зависящая от диаметра турбины, частоты ее вращения и числа лопастей на турбине.

В лаборатории кафедры «Машины и аппараты промышленных технологий» проводятся исследования по изучению механизма размола волокнистых материалов с использованием подвижной преграды в виде вращающейся турбины с определенным количеством лопастей. Одной из задач ставилось исследовать влияние количества лопастей на процесс размола небеленой целлюлозы concentra-

цией 2 %. В качестве подвижной преграды использовалась турбина с различным количеством лопастей. Работа проводилась при скорости истечения струи суспензии 115,4 м/с, диаметре насадки 0,002 м, расстоянии от насадки до преграды 0,1 м и диаметре турбины в месте контакта струи с преградой 0,31 м.

В результате экспериментальных исследований выяснилось, что наибольший прирост гудуса помола за более короткий промежуток времени и меньший расход электроэнергии наблюдаются при использовании турбины с 24 лопастями.

Таким образом, при безножевом размоле на установке типа «струя – преграда» с использованием подвижной преграды присутствует эффект кавитации. Для увеличения воздействия этого эффекта необходимо регулировать скорость истечения струи суспензии из сопла на преграду, расстояние от насадки до преграды и количество контактов струи с элементами подвижной преграды.

Также решались вопросы размола вторичного волокнистого сырья с целью повышения доли использования оборотного брака и макулатуры при производстве различных видов бумаг. Был сделан сравнительный анализ влияния безножевого и ножевого способов размола на изменение бумагообразующих показателей волокнистой массы и физико-механических свойств готовых отливок из первичного и вторичного волокнистых полуфабрикатов.

В качестве первичного волокнистого сырья использовалась бисульфитная небеленая целлюлоза – полуфабрикат ООО «Енисейский ЦБК», а вторичного – макулатура марки МС-1А – полуфабрикат ООО «Красноярская бумажная мануфактура». Концентрация волокнистых суспензий менялась в следующих пределах: 0,5; 1; 1,5; 2 %.

При безножевом способе размола использовали установку «струя – преграда», а при ножевом – полупромышленную дисковую мельницу.

Учитывая, что данная установка включает два способа размола (ножевой и безножевой), мы имеем возможность регулировать долю воздействия того или иного способа и таким образом обеспечивать необходимое качество обработки волокна.

Полученные экспериментальные данные показывают, что на продолжительность размола большое влияние оказывают вид волокнистого полуфабриката (небеленая целлюлоза или оборотный брак), а также способ воздействия на волокно.

На основании экспериментальных данных построена графическая зависимость прироста степени помола по шкале Шоппер – Риглера от времени размола волокнистого полуфабриката при различных способах размола (рис. 1).

Как видно из рисунка, качественные показатели прироста степени помола зависят от вида воздействия на волокно при размоле и не зависят от вида обраба-

Лесопромышленный комплекс

тываемого полуфабриката. Для ножевого размол кривые носят параболический характер, при безножевом размоле характер кривых можно описать в виде половины синусоиды. Количественные значения изменения степени помола зависят от вида обрабатываемого материала и в малой степени наблюдается зависимость от вида воздействия на волокно (ножевое и безножевое).

Это положительный эффект, так как мы знаем, что обычно время, затрачиваемое на обработку ножевым способом, меньше, чем при безножевом. Этого эффекта мы достигли, подобрав режимы работы безножевой установки (скорость истечения струи, расстояние от насадки до преграды и др.), позволившие приблизиться к ножевым установкам по производительности и приросту градуса помола.

Межволоконные силы связи – важный качественный показатель, который обуславливает не только механическую прочность, но и почти все физические свойства (объемный вес, непрозрачность, воздухопроницаемость, впитывающую способность, деформацию) и физико-механические характеристики (разрывная длина, сопротивление бумаги излому и продавливанию) готовой бумаги [3].

Из рис. 2 видно, что качественные изменения межволоконных сил связи вне зависимости от вида волокнистого материала и способа обработки имеют идентичный характер в виде парабо-

лических кривых. При размоле рассматриваемых волокнистых полуфабрикатов межволоконные силы связи для первичного волокнистого сырья значительно выше, чем для вторичного. Так, при градусе помола 55 °ШР этот показатель в два-три раза

выше у первичного волокнистого сырья в сравнении с таковым у вторичного как при безножевом, так и при ножевом способах размолу. Существенное влияние оказывает способ обработки. Так, при размолу в безножевой установке наблюдается рост

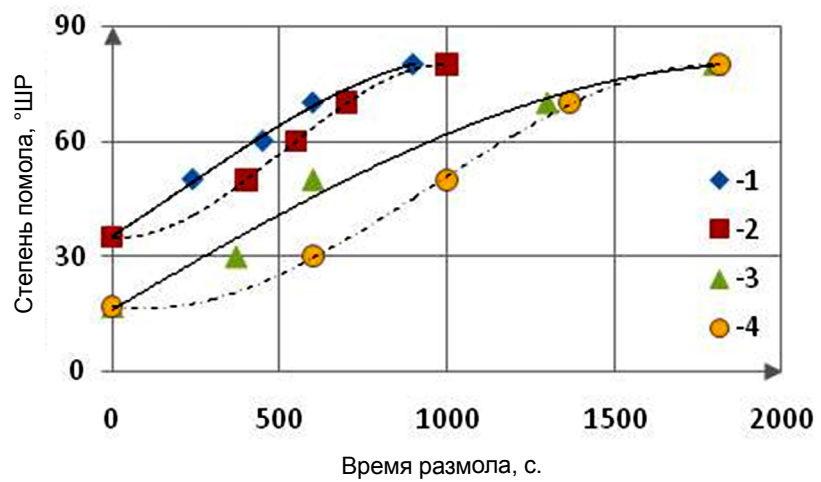


Рис. 1. Зависимость степени помола от времени размолу:  
 1 – размол вторичного волокнистого сырья в ножевой установке;  
 2 – размол вторичного волокнистого сырья в безножевой установке;  
 3 – размол первичного волокнистого сырья в ножевой установке;  
 4 – размол первичного волокнистого сырья в безножевой установке

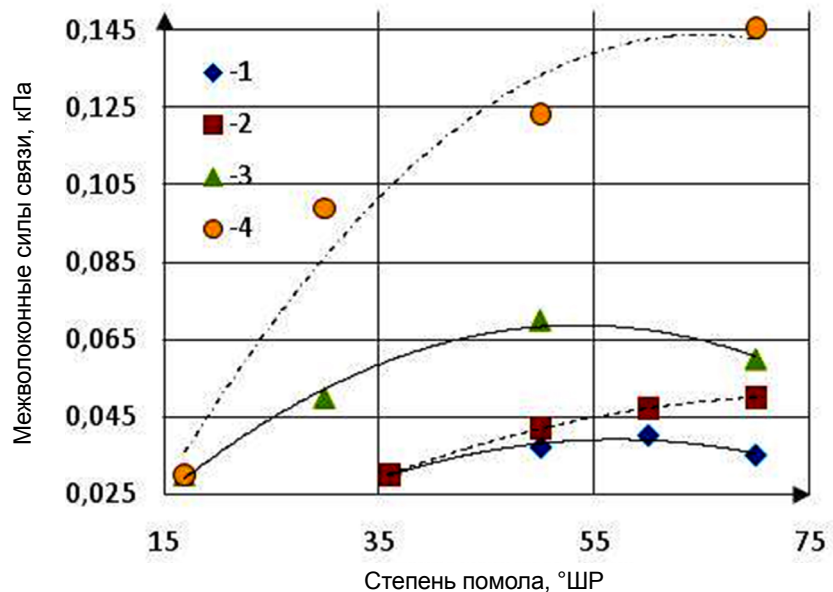


Рис. 2. Зависимость межволоконных сил связи от степени помола:  
 1 – размол вторичного волокнистого сырья в ножевой установке;  
 2 – размол вторичного волокнистого сырья в безножевой установке;  
 3 – размол первичного волокнистого сырья в ножевой установке;  
 4 – размол первичного волокнистого сырья в безножевой установке

## Лесопромышленный комплекс

межволоконных сил связи, а при ножевом способе размола рост наблюдается только до 60 °ШР, а потом происходит падение этого показателя.

Это объясняется тем, что в ножевых размалывающих машинах волокна подвергаются рубке и вследствие этого значительно укорочению без существенного фибриллирования, а в безножевых машинах получается более длинноволокнистая масса с хорошо разработанной поверхностью.

Показатель сопротивления бумаги разрыву является одним из важнейших показателей качества. Как видно из графика (рис. 3), качественные зависимости изменения разрывной длины при размоле первичного и вторичного волокнистого сырья при ножевом и безножевом способах обработки имеют тенденцию роста с увеличением степени помола до 50 °ШР, дальнейшая ножевая обработка приводит к снижению разрывной длины, а при безножевом размоле продолжается повышение данного показателя независимо от вида обрабатываемого материала.

Из графика, представленного на рис. 4, видно, что при идентичных качественных зависимостях количественные значения сопротивления продавливанию значительно отличаются друг от друга как при размоле различного волокнистого материала, так и при разных способах обработки. Более высокие показатели достигаются при разработке вторичного волокнистого сырья

в безножевой установке «струя – преграда».

Показатель сопротивления бумаги продавливанию является одним из существенных показателей, характеризующих механическую прочность бумаги, и наиболее важен для бумаг, которые

при использовании подвергаются частому изгибающему усилию, например денежная, картографическая, оберточная бумага и др. Этот показатель зависит от длины волокон, из которых образована бумага, их прочности, гибкости и сил связи между ними [4].

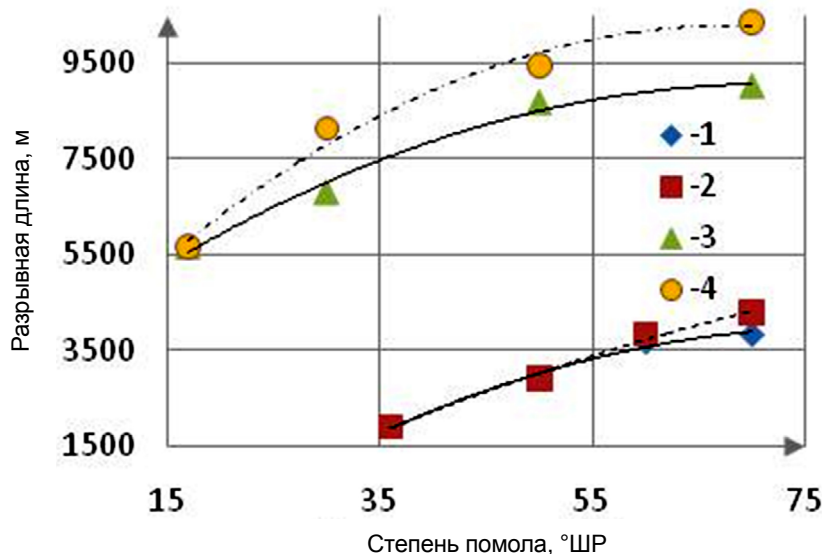


Рис. 3. Зависимость разрывной длины от степени помола:

- 1 – разлом вторичного волокнистого сырья в ножевой установке;
- 2 – разлом вторичного волокнистого сырья в безножевой установке;
- 3 – разлом первичного волокнистого сырья в ножевой установке;
- 4 – разлом первичного волокнистого сырья в безножевой установке

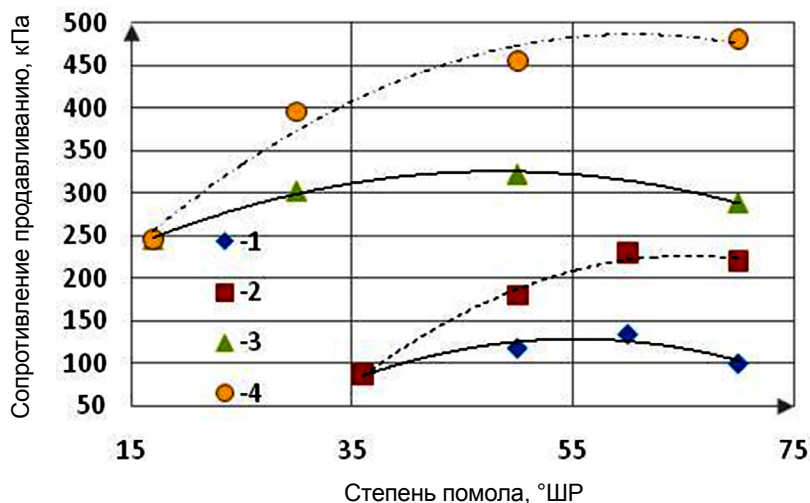


Рис. 4. Зависимость сопротивления продавливанию от степени помола:

- 1 – разлом вторичного волокнистого сырья в ножевой установке;
- 2 – разлом вторичного волокнистого сырья в безножевой установке;
- 3 – разлом первичного волокнистого сырья в ножевой установке;
- 4 – разлом первичного волокнистого сырья в безножевой установке

*Лесопромышленный комплекс***Выводы**

1. Продолжительность размола вторичного волокнистого сырья безножевым способом при прочих равных условиях сравнима с временем, затрачиваемым на размол ножевым способом. Это объясняется подбором оптимальных параметров работы безножевой установки (скорость истечения струи, расстояние от насадки до преграды и др.), позволившим приблизиться к ножевым уста-

новкам по производительности и приросту градуса помола.

2. Качественные показатели процесса размола (межволоконные силы связи, разрывная длина, сопротивление продавливанию и др.) при безножевом способе размола более высокие по сравнению с таковыми при размоле ножевым способом, так как в ножевых размалывающих машинах волокна подвергаются сильному рубящему воздействию без зна-

чительного фибриллирования, что в конечном итоге приводит к снижению прочностных показателей готовой продукции.

3. При определенных параметрах работы безножевой размольной установки (скорость истечения струи, расстояние от насадки до преграды, диаметр насадки, вид и форма преграды и др.) удельный расход электроэнергии может быть приближен к таковому при ножевом размоле.

*Библиографический список*

1. А.с. 1559026 (СССР), В 02 С 19/06. Установка для измельчения волокнистого материала/ А.Г. Лахно, В.Г. Васютин, Ю.Д. Алашкевич, Н.А. Войнов, С.М. Репах (СССР). Заявл. 28.03.88; опубл. 23.04.90, Бюл. № 15. 6 с.
2. Гидродинамические явления при безножевой обработке волокнистых материалов: моногр. / Ю.Д. Алашкевич [и др.]. Красноярск, 2004. 80 с.
3. Фляте Д.М. Технология бумаги: учебник для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 440 с.
4. Кутовая Л.В., Алашкевич Ю.Д., Обобщающий параметр безножевого способа обработки волокнистых полуфабрикатов: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2001. 130 с.

УДК 676.024.6

*В.И. Шуркина<sup>1</sup>, Р.А. Марченко<sup>1</sup>, Ю.Д. Алашкевич<sup>2</sup>, В.И. Ковалев<sup>1</sup>*  
*(V.I. Shurkina<sup>1</sup>, R.A. Marchenko<sup>1</sup>, Y.D. Alashkevich<sup>2</sup>, V.I. Kovalev<sup>1</sup>)*

<sup>1</sup>*Сибирский государственный технологический университет,*  
*Красноярск*

<sup>2</sup>*Институт химии и химической технологии СО РАН,*  
*Красноярск*

**ПОСТРОЕНИЕ НОЖЕЙ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ФОРМЫ РАЗМАЛЫВАЮЩЕЙ ГАРНИТУРЫ  
 В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**(CONSTRUCTION OF KNIVES CURVED SHAPE MILLED HEADSET IN PULP  
 AND PAPER PRODUCTION)**

*Решается задача построения единичного ножа криволинейной формы и распределения данных ножей по рабочей поверхности ножевой размалывающей гарнитуры.*

*In this paper we solve the problem of building a single knife curved knives and distribution of data on the working surface of the blade grinding headset.*

**Введение**

Существует множество способов интенсификации процесса

размола волокнистой суспензии в дисковых мельницах. Одним из таких направлений является мо-

дификация рабочих органов размалывающих машин – ножевой гарнитуры.