

РАЗМОЛ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В РАЗМАЛЫВАЮЩИХ МАШИНАХ

А. А. Карелина, Ю. Д. Алашкевич, А. В. Ушаков

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский Рабочий», 31
E-mail: karelina.alexandra@mail.ru

Представлен обзор научной литературы, в котором рассматриваются основные устройства для размол массы высокой концентрации из хвойных и лиственных пород древесины. Описываются их положительные и отрицательные характеристики. Проводится анализ свойств массы высокой концентрации из хвойных и лиственных пород древесины при размоле. Обозначены противоречия разных ученых в оценке свойств размол массы высокой концентрации из хвойных и лиственных пород древесины. Определены положительные и отрицательные свойства при размоле массы высокой концентрации.

Ключевые слова: размол, масса высокой концентрации, фротанульпер, дисковая мельница, хвойные породы древесины, лиственные породы древесины.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 6, P. 544–551

REFINING OF FIBROUS SEMI-FINISHED PRODUCTS OF HIGH CONSISTENCY IN REFINERY MACHINES

A. A. Karelina, Y. D. Alashkevich, A. V. Ushakov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: karelina.alexandra@mail.ru

A review of the scientific literature is presented, which discusses the main devices for grinding a mass of high consistency from coniferous and hardwood. Their positive and negative characteristics are described. The analysis of the properties of the mass of high consistency of coniferous and hardwood species during refining is carried out. The contradictions of different scientists in assessing the properties of refining a mass of high consistency from coniferous and hardwood are indicated. Positive and negative properties are determined when refining a mass of high consistency.

Keywords: refining, high consistency mass, frotapulper, disk furniture, softwood, hardwood.

ВВЕДЕНИЕ

Размол волокнистой массы является важной частью целлюлозно-бумажного производства. Он представляет собой процесс механической переработки растительных волокон в водной среде [1]. Осуществляется размол с помощью механического и гидродинамического воздействия.

Целью размол является подготовка волокнистого материала к отливу, придание ему определенной степени гидратации, гибкости и пластичности волокнам, увеличение их поверхности, а также обеспечение более прочной связи волокон друг с другом в бумажном листе.

Волокнистая суспензия представляет собой смесь двух фаз – непрерывной, или жидкой, и прерывистой, или дисперсной. Непрерывная фаза – вода, а дисперсную фазу образуют волокна древесины, целлюлозы,

наполнители, красители и клеи. Так как волокна – преобладающий компонент дисперсной фазы, суспензию называют волокнистой.

Реологическая характеристика позволяет судить о внутренних силах, действующих в потоке суспензии. Следовательно, значение реологии – обязательное условие при изучении основ гидродинамики волокнистой суспензии.

Волокнистые суспензии, применяемые в целлюлозно-бумажном производстве, имеют в своем составе волокна различных геометрических размеров и физико-механических свойств: от длинных, тонких и гибких волокон целлюлозы до коротких и толстых волокон древесной массы.

Волокнистые суспензии относятся к разряду неньютоновских жидкостей. Реологическая модель неньютоновской жидкости отличается от модели

* Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Глубокой переработки растительного сырья» проекта «Технология и оборудование химической переработки биомассы растительного сырья» (номер темы FEFE-2020-0016).

ньютоновской жидкости отсутствием прямой пропорциональности между касательным напряжением и градиентом скорости [2].

Свойства конечной продукции зависят от того, насколько качественно был произведен процесс размола. Существует ряд факторов, влияющих на процесс размола. Среди них основными являются: продолжительность размола, удельное давление при размоле и осевой зазор между размалывающими поверхностями, конструктивные параметры ножевой гарнитуры, окружная скорость размалывающих органов, концентрация и температура волокнистой массы и ряд других факторов [3].

Также качество и характер бумаги зависит от свойств приготовленной массы, сырья и оборудования и от режимов работы бумагоделательных машин [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для производства бумаги чаще всего применяются растительные полимеры, из которых путем размола получают волокнистую массу определенного качества, которую применяют для изготовления отдельных видов изделий. Наиболее важным материалом является древесина, поскольку она имеет наибольший объем и более универсальные качественные показатели [5].

Одним из путей усовершенствования процесса размола является размол волокнистой массы при высокой концентрации. Этот вид размола даёт возможность в большей степени сохранить природную длину волокна, направить процесс в сторону фибриллирования, повысить показатели прочности бумаги. Однако успешное осуществление размола волокнистой массы высокой концентрации связано с преодолением некоторых трудностей, не позволяющих пока широко использовать этот вид размола. К их числу относятся: малый прирост степени помола, затрудненное прохождение волокнистым материалом зоны размола, повышенный удельный расход энергии, разогрев массы до высокой температуры, отсутствие рекомендаций по выбору гарнитуры, предназначенной для размола массы высокой концентрации и другие.

Кардин Я.А. при размоле отходов сортирования древесной массы заметил, что при концентрации свыше 18 % в массе появляются закатыши и скрученные волокна, которые не расправляются вновь в холодной воде. Это приобретенное свойство массы называется латентностью [6].

Концентрация массы – один из факторов, регулирующих процесс размола. В настоящее время наиболее распространен размол волокнистой массы низкой концентрации (4–6 %). Однако, в последнее время разработан новый процесс размола массы высокой концентрации (20–30 %). При такой концентрации волокнистая суспензия теряет свойства текучести, и приобретают свойства сыпучего вещества, превращаясь в крошку.

Такую массу размалывают в дисковых мельницах со шнековой подачей при относительно большом зазоре между размалывающими дисками. При высокой концентрации размол происходит главным образом благодаря интенсивному трению волокон друг о друга, а не только за счет воздействия ножевой гарнитуры. В результате удается сохранить исходную длину волокна. При этом волокна фибриллируются, набухают и

пластифицируются без интенсивного укорочения и расщепления. Такая масса хорошо обезвоживается на сетке бумагоделательной машины. Бумага, которую изготавливают из такой массы, обладает высокими растяжимостью и сопротивлением раздиранию [3].

Процесс фибриллирования заключается в ослаблении и разрушении связей между отдельными фибриллами и микрофибриллами клеточной стенки под влиянием механических воздействий размалывающих органов и проникновения воды в межфибриллярные пространства – области аморфной целлюлозы, где сосредоточена главная часть гемицеллюлоз.

Температура массы при размоле оказывает существенное влияние на процесс размола. Набухание и гидратация целлюлозных волокон, как известно, проявляют экзотермический характер, т. е. сопровождаются выделением тепла [7].

Повышение температуры массы неблагоприятно отражается на процессе размола и свойствах получаемой бумаги. Длительность размола при этом возрастает, волокна в большей степени укорачиваются, а гидратация их уменьшается, что приводит к снижению прочности бумаги, увеличению её пухлости, пористости и впитывающей способности.

Использование высокой концентрации массы при размоле благоприятно сказывается на повышении механических свойств бумаги. Особенно повышаются показатели сопротивления раздиранию и растяжению.

Повышение прочностных показателей бумаги, изготовленной из массы высокой концентрации, объясняется наружным и внутренним фибриллированием волокна. Наружное фибриллирование увеличивает внешнюю поверхность волокна и количество межволоконных связей, а внутренне фибриллирование способствует росту межволоконных сил связи, прибавляя волокну гибкость и пластичность, без ослабления прочности самого волокна [6].

Дисковые мельницы для размола волокнистых полуфабрикатов, относящиеся к классу машин ножевого размола, являются наиболее популярным оборудованием благодаря следующим факторам: более широкая область применения (производство древесной массы из щепы, размол отходов древесно-массового производства), более низкому удельному расходу энергии (благодаря меньшим гидродинамическим потерям), возможности размола массы высокой концентрации, большей единичной производительности.

Гарнитуры дисковых мельниц преимущественно изготавливают в виде секторов, которые закрепляются на поверхности несущих дисков ротора и статора, а также в виде цельных колец для мельниц с консольным расположением диска. Выбор конфигурации диска основывается на экспериментальных данных. Элементами, которые влияют на эффективность работы являются: толщина ножей и расстояние между ними, углы наклона ножей к радиусу, наличие и расположение перегородок в каналах между ножами [1].

У большинства типов гарнитур (в основном для размола при высокой концентрации) толщина ножей и расстояние между ними уменьшаются от центра диска к периферии. Рабочая поверхность ножей гарнитуры для размола массы низкой концентрации дела-

ется плоской, в то же время гарнитуры для размала массы высокой концентрации делаются с профилированной поверхностью с целью выравнивания давления по радиусу [1].

Значительное влияние оказывает вид рисунка размалывающей гарнитуры на разработку волокна при размале волокнистой массы высокой концентрации. На данный момент времени не существует единой точки зрения по поводу целесообразности конструирования особого вида рисунка гарнитуры для размала волокнистой массы высокой концентрации. Поэтому исследование влияния отдельных конструктивных параметров ножевой гарнитуры на процесс размала волокнистого материала высокой концентрации, несомненно, остается актуальным вопросом. К основным конструктивным параметрам ножевых гарнитур, которые влияют на процесс разработки волокна, можно отнести ширину ножа, ширину паза, угол наклона ножей к радиусу [6].

На кафедре МАПТ СибГУ им. М. Ф. Решетнева была разработана гарнитура с эвольвентной формой ножей. Обладая высокой интенсивностью процесса размала, а также низкой затратой электроэнергии, гарнитура с эвольвентной формой ножей может считаться эффективной. Данный фактор, можно объяснить тем, что эвольвентная форма ножей сама по себе значительно снижает эффект трения поверхности ножей о массу в узком зазоре между ножами ротора и статора. Так как, обеспечивается зацепление кромок ножей о массу, по касательной эвольвенты, вихревой поток гонит массу по нужной траектории по кромкам ножей без скольжения.

Известно, что процесс размала волокнистой массы в ножевых машинах сопровождается ростом температуры обрабатываемого полуфабриката, на некоторых ножевых гарнитурах рост температуры массы достигает показателя выше 50 °С. Такое повышение температуры негативно сказывается на качестве размалываемой массы и на время её обработки, так как повы-

шение температуры приводит к ороговению и окислению волокон. Для снижения негативного влияния этого показателя при размале массы, требуется, зачастую, дополнительное охлаждение размалываемой массы, либо снижение режимов работы установки за счёт изменения величины зазора между ножами ротора и статора, частоты вращения ротора и статора, что естественно, влечет за собой снижения производительности установки.

Гарнитура с эвольвентным расположением ножей имеет ряд преимуществ:

- сокращение продолжительности прохождения массы через размалывающую полость;
- повышение производительности размольной установки;
- снижение удельного расхода электроэнергии размалывающей машины при размале;
- незначительный нагрев волокнистой массы (в пределах 50°С);
- повышение качества готового продукта [8].

Широко применение дисковых мельниц для размала волокнистых материалов объясняется прежде всего преимуществами, которыми обладает этот вид оборудования. К ним относятся: простота конструкции в сравнении с коническими мельницами, компактность оборудования, удобство в обслуживании, большое разнообразие ножевых гарнитур и их легкая смена, высокая производительность и эффективность размала, особенность обработки волокнистого материала и высокие прочностные показатели его и целый ряд других [6].

Размол волокнистого материала при высокой концентрации массы в дисковой мельнице осуществляется при наличии шнекового питателя и свободного выхода для массы. При этом используется размалывающая гарнитура с перекрытыми пазами. Время пребывания массы в зоне размала в этом случае регулируется только за счет подключения мельниц, стоящих в потоке последовательно.

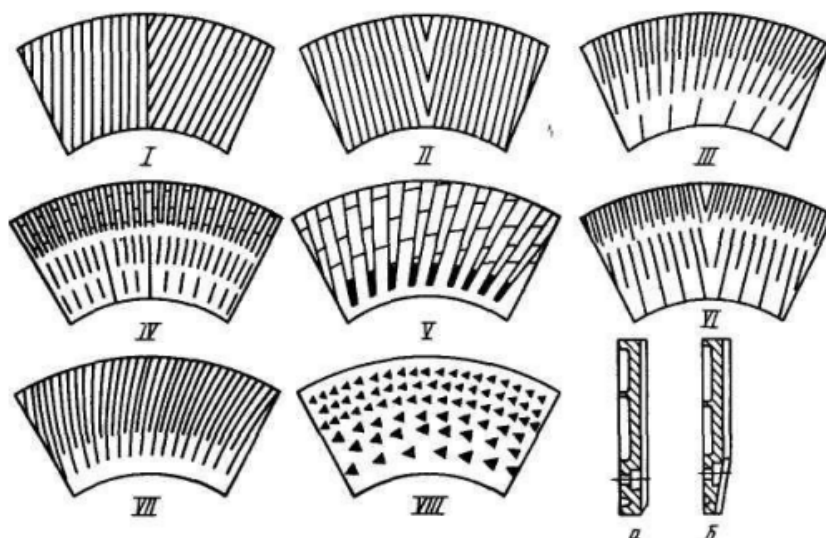


Рис. 1. Варианты расположения ножей на гарнитурах дисковых мельниц:

I – параллельное однонаправленное; II, VI – параллельное разнонаправленное (зеркальное); III, IV, V – расходящиеся ножи: под углом к радиусу (III, V) и радиальные (IV); VII – спиральное; VIII – шипообразная гарнитура; а – сечение гарнитур I, II, III типов для массы низкой концентрации; б – сечение гарнитур IV, V, VI типов для массы высокой концентрации

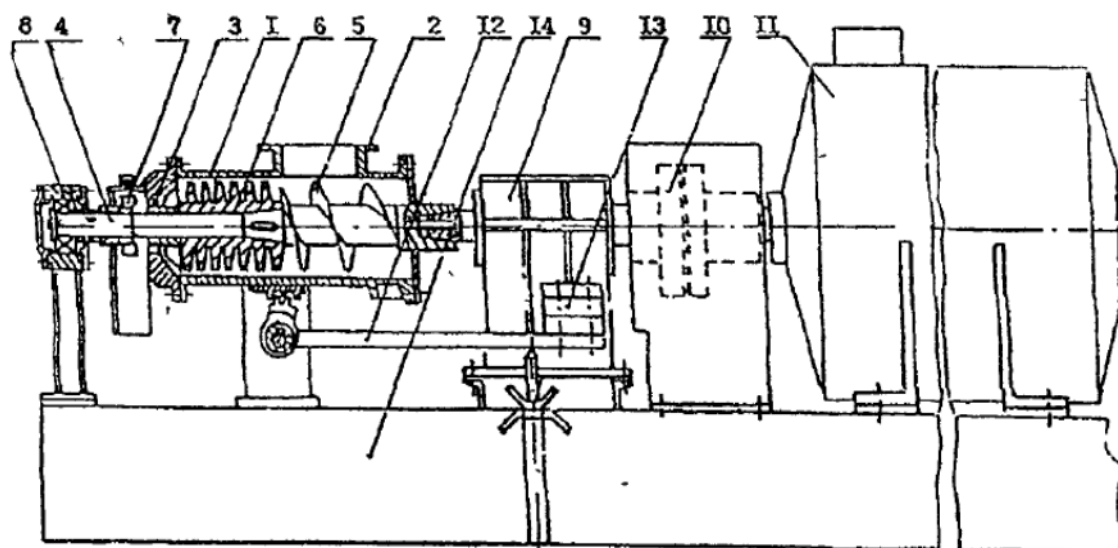


Рис. 2. Схема фротапульпера:

1 – корпус; 2 – патрубок; 3 – кольцевая щель; 4 – валы; 5 – заходный шнек; 6 – рабочий шнек; 7 – вертушка; 8 – подшипниковая опора; 9 – редуктор; 10 – муфта; 11 – электродвигатель; 12 – механизм присадки; 13 – груз; 14 – рама

Успешному внедрению размола волокнистой массы высокой концентрации препятствуют проблемы, связанные с затрудненным прохождением массой зоны размола. К их числу относятся: забивание мельницы массой, низкий прирост степени помола при однократном прохождении волокнистого материала через размалывающий аппарат, относительно высокий удельный расход энергии, высокая температура массы в зоне размола и другие.

Центробежная сила, развиваемая вращающимся диском, является движущей силой массы, направленной на преодоление сил сопротивления прохождению волокнистым материалом зоны размола. В тех случаях, когда центробежная сила преобладает над силами сопротивления, размол проходит в нормальных условиях. В противном случае происходит забивание дисков массой, отжим и прессование массы на входе в мельницу. Появление воды в воронке шнекового питателя, повышение нагрузки на его двигатель, некоторое снижение нагрузки на главный двигатель мельницы, уменьшение производительности размалывающего аппарата и быстрый разогрев торцевой крышки могут служить признаками забивания мельницы массой. Забивание мельницы массой, как правило, приводит к останову размалывающего аппарата на некоторое время, необходимое для удаления уплотненного слоя массы, чистки ножевых дисков и других операций. Забивание мельницы массой может привести к более серьезным последствиям. Например, выходу из строя привода шнекового питателя, поломке шнека и т. д. [6].

Матвеев даёт следующие рекомендации, касающиеся конструкции мельницы для размола массы высокой концентрации. В основном они сводятся к следующему: масса из зоны размола должна иметь свободный выход; в пазах диска должны быть перегородки; величина зазора между дисками должна находиться в пределах нескольких миллиметров и она зависит от исходной концентрации и скорости вращения диска; при увеличении ширины пазов и ширины

ножей зазор между дисками может быть уменьшен; наклон ножей на диске должен быть равным 3° .

Сопротивление движению массы в зазоре между дисками велико и поэтому необходимо, чтобы органы дисковой мельницы обеспечивали продвижение массы по зоне размола, так как внешние побудители движения не в состоянии преодолеть эти сопротивления. Основным побудителем движения в мельнице является центробежная сила, которая действует на каждый элемент волокнистой массы [9].

Помимо дисковых мельниц для размола волокнистой массы высокой концентрации для исследования процесса размола стали применяться шнековые машины, которые имеют некоторые преимущества. К числу таких устройства относятся фротапульперы. Они относятся к безножевому размалывающему оборудованию и предназначенный для дефибрирования и предварительного размола различных волокнистых материалов при высокой концентрации.

Размалываемый волокнистый материал подхватывается подающими витками шнека и поступает в зону обработки, где в зазорах между витками размалывающих червяков происходит интенсивная обработка волокон под действием сил сжатия и сдвига. Осуществляется трение волокон друг о друга и о металлические поверхности внутри аппарата. Микрофотографии, сделанные на электронном микроскопе, показывают также, что после обработки в фротапульпере волокна лишаются наружных стенок, скручиваются и расщепляются. Фротапульпер в настоящее время используется при массном размоле на различных ступенях. Особенности обработки волокнистых материалов объясняются наличием весьма значительных давлений сжатия и напряжений сдвига в межвитковых зазорах. В боковых клинообразных зазорах сдвиговые напряжения возникают в следствии разности по величине и направлению скоростей витков в различных точках. Мощность, потребляемая машиной, расходуется на трение материала о поверхность витков

в межвитковых зазорах, а также на трение «пробки» материала, образовавшейся на выходе, о внутреннюю поверхность боковой крышки. Высокое давление в межвитковых зазорах в сочетании со сдвигом вызывает в волокнах большие внутренние напряжения, которые обуславливают нарушение внутренних связей, увеличение гибкости. Внешнее фибриллирование практически не развивается, волокна не укорачиваются.

Основным недостатком фротапульпера является незначительное изменение степени помола. Однако, дальнейший размол в обычных размалывающих машинах происходит при существенно меньших затратах энергии по сравнению с размолем безпредварительной обработки [1].

Для обработки волокнистой массы высокой концентрации Тихонов Ю.А. и Терентьев О.А. предложили свой способ. Волокнистую массу концентрацией 30–98 % смешивают с химикатами и сыпучим материалом и увлажняют, затем подвергают одновременному сжатию и сдвигу. Для этого волокнистую массу вместе с сыпучим материалом подают в спиральный смеситель, где в зазоре между самоцентрирующимися гибкими спиралями, вращающимися с большой скоростью в противоположных направлениях, она испытывает сдвиговые и вследствие колебаний спиралей ударные нагрузки. При этом частицы сыпучего материала, перемещаясь с большой скоростью относительно друг друга, диспергируют массу на отдельные волокна и одновременно передают ударно-сдвиговые усилия на поверхность волокна. Одновременно при этом каждое волокно или мелкий конгломерат волокон отделяются один от другого частицами сыпучего материала, образуя плотную упаковку. Тем самым предотвращается эффект скатывания исходной массы в комки, а также усиливается действие ударно-сдвигового усилия на волокна, так как частицы сыпучего материала мнут волокна, осуществляя начальную стадию размала и очистки. Полученная смесь поступает в фротапульпер или конусную инерционную дробилку. При сжатии смеси частицы сыпучей среды, окружающие каждое волокно исходной массы, сжимают волокна и частично внедряются в их поверхность, а при сдвиге, перемещаясь относительно друг друга, раздирают поверхность волокон, осуществляя тем самым размол, а также отделение примесей от волокон [10].

Недостатком данного устройства можно назвать необходимость смешивания волокнистой массы с дополнительным сыпучим материалом и химикатами. В дальнейшем может потребоваться дополнительная очистка волокнистой массы. Также это влечет за собой дополнительные экономические затраты.

Ещё одно устройство для размала волокнистого материала было предложено Рублевым А.И. и Колобовым Э.И.

Способ размала волокнистого материала, заключающийся в последовательном перемещении обрабатываемого материала через рабочую зону, образованную вращающимися с возможностью взаимного зацепления шнековыми и/или дисковыми поверхностями, отличающимися тем, что с целью повышения эффективности размала обрабатываемый материал переме-

щают через две рабочие зоны последовательно из одной в другую, при этом перемещение в последней осуществляют при уменьшенной окружной скорости вращения поверхностей.

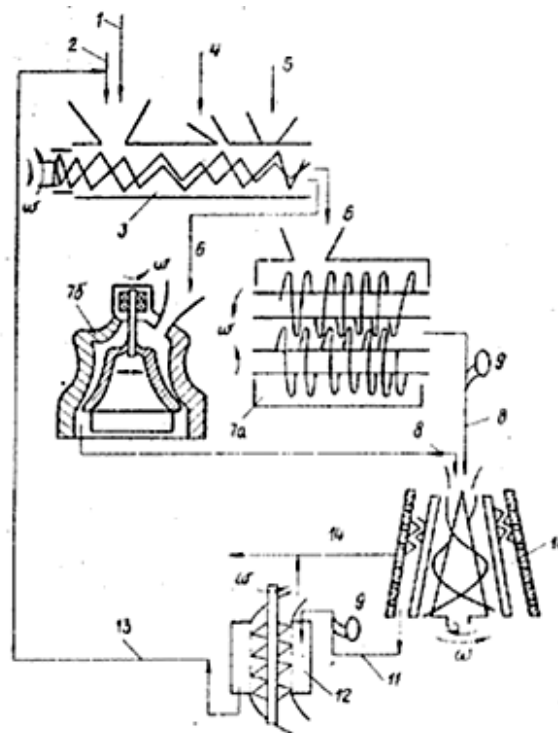


Рис. 3. Устройство для обработки волокнистой массы высокой концентрации:

1 – исходная волокнистая масса; 2 – сыпучий материал; 3 – спиральный смеситель; 4 – газ или жидкость; 5 – химикаты; 6 – полученная смесь; 7а – фротапульпер; 7б – инерционная дробилка; 8 – смесь после обработки; 9 – вентилятор или компрессор; 10 – диспергатор; 11 – сыпучий материал с остатками волокон; 12 – классификатор; 13 – очищенный сыпучий материал (с химикатами или без них); 14 – размолотая и очищенная масса

Устройство предусматривает бункер для щепы, в котором она предварительно пропаривается. Затем материал поступает в шнековую зону размала [11].

Недостатком данного устройства являются большие габариты и сложность конструкции, а как следствие трудности в обслуживании. Также, поскольку механизм размала похож на работу фротапульпера, будет наблюдаться маленький прирост степени помола волокнистой массы.

Дополнительно стоит выделить способ обработки и транспортировки волокнистой массы при высокой концентрации, разработанный Грудининым В.П.

Способ включает получение смеси влажной волокнистой массы и газообразного транспортного агента, подаваемой в трубчатый реактор. Волокнистый полуфабрикат средней консистенции подают в напорную башню, механически разжижают для придания текучести перед крылаткой насоса, подают в камеру прессования, где сгущают до высокой концентрации, отжимая и удаляя жидкость, диспергируют на волокна, псевдоожижают, смешивая с транспортным агентом, и перекачивают к месту дальней-

шей переработки. Устройство содержит напорную башню для приема волокнистого полуфабриката, встроенный шнек с подающими витками, механический разжижитель, крылатку насоса для перекачки разжиженной массы в камеру прессования, имеющую барометрическую трубу для отвода отжатой жидкости и вакуумную трубу для удаления неконденсируемых газов. В камере прессования смонтирована обезвоживающая часть шнека. Кроме того, устройство содержит камеру для массовой пробки, диспергатор, камеру смешения, транспортный трубопровод. Все функциональные механизмы смонтированы на одном валу, а вал закреплен на цапфе приводного электродвигателя.

Данное устройство предназначено для перекачки массы высокой концентрации 10–55 % для дальнейшей переработки [12].

Поскольку оборудование является транспортирующим, его главным недостатком можно назвать

невозможность переработки волокнистого материала. Способ, предложенный Грудининым, предполагает использование сложного оборудования, что в сумме с размалывающими установками будет нести большие экономические затраты и трудности в обслуживании. Однако псевдооживление волокнистых суспензий может предотвратить скатывание волокон в комки, забивание зоны размола и чрезмерный нагрев волокнистой массы.

Поскольку дисковые мельницы получили наибольшее распространение для размола волокнистой массы, целесообразно будет обратить более пристальное внимание на их характеристики и условия работы. Многие исследователи, рассматривая процесс размола волокон в ножевых размалывающих машинах, указывают, что размол за счет прямого силового воздействия ножевой гарнитуры имеет место при зазорах, сравнимых с толщиной волокна.

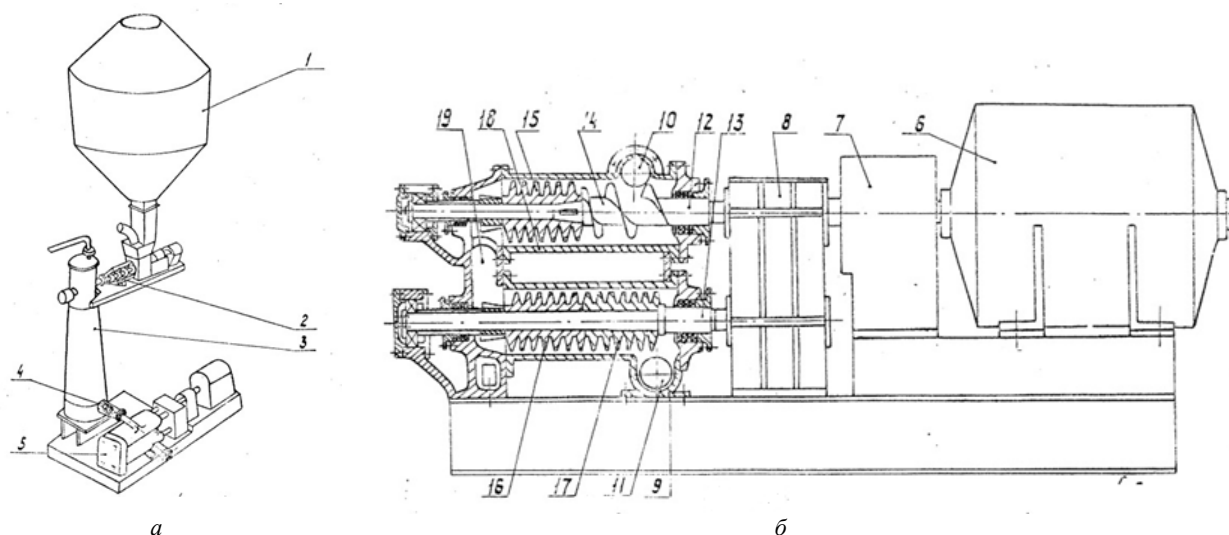


Рис. 4. Устройство для размола волокнистого материала:

1 – бункер; 2 – шнековый питатель; 3 – пропарочная камера; 4 – шнек боковой загрузки; 5 – устройство для размола волокнистого материала; 6 – привод; 7 – соединительная муфта; 8 – редуктор; 9 – корпус; 10 – отверстия загрузки; 11 – отверстия выгрузки; 12, 13 – шнек; 14 – загрузочная часть; 15 – характерный шнековый участок воздействия на обрабатываемый материал; 16, 17 – характерные шнековые участки; 18 – перегородка; 19 – отверстие для перемещения обрабатываемой волокнистой массы из верхней части камеры в нижнюю

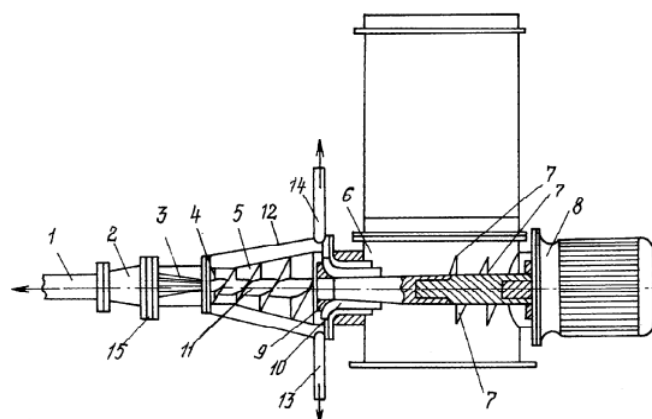


Рис. 5. Устройство для обработки и транспортировки волокнистой массы:

1 – цапфа; 2 – смешительная камера; 3 – диспергатор; 4 – камера для массовой пробки; 5 – камера прессования; 6 – напорная башня; 7 – подающие витки; 8 – электродвигатель; 9 – крылатка; 10 – механический разжижитель; 11 – встроенный шнек; 12 – конус для отвода отжатой жидкости; 13 – барометрическая труба; 14 – вакуумная труба; 15 – приспособление для ввода парогазовой смеси или пара в смешительную камеру

При больших зазорах в действие вступают силы, отличные от сил механического воздействия ножей гарнитуры. Регулируя зазор между размалывающими поверхностями ротора и статора, изменяют характер воздействия на волокно. Например, при расстоянии между ножами от 0,8 до 0,65 мм происходит легкий расчес; от 0,6 до 0,5 мм – сильный расчес; от 0,4 до 0,2 мм – легкий размол; от 0,2 до 0,1 мм – средний размол; при зазоре менее 0,1 мм – сильный размол с высоким удельным давлением. Удельное давление выбирают также в зависимости от требуемого характера помола и прочности исходного волокна.

В работах Ю. Д. Алашкевича доказано, что в ножевых размольных машинах величина зазора между диском ротора и статора оказывает влияние на характер размола волокнистой массы, где наряду с механическим воздействием ножевой гарнитуры на волокно возникают также гидродинамические явления в потоке суспензии [13].

Матвеев в своей работе показывает зависимость межножевого зазора и концентрации волокнистой массы. Так при увеличении концентрации и увеличении межножевого зазора требуется большее количество проходов для достижения необходимой степени помола [6].

При этом с увеличением зазора уменьшается износ гарнитуры, но увеличивается время обработки массы.

Алашкевич Ю.Д. со своими учениками [13] говорит о том, что окружная скорость вращения ротора определяет производительность, техникоэкономические показатели ножевых машин и влияет на физико-механические свойства бумаги. Обычно размол волокнистых материалов осуществляется при скорости ротора конических мельниц 8–22 м/с, дисковых – 22–100 м/с, а в некоторых случаях – 200 м/с. По данным Ф. Люде и Д. Пейджа, при повышении окружной скорости ротора отмечается повышение температуры и снижение содержания длинных волокон в массе. М. Джексон отмечает, что повышение периферийной окружной скорости ротора способствует глубокому фибриллированию волокон. Доказано, что при повышении окружной скорости ротора и снижении давления: увеличивается число слабых ударов ножей гарнитуры о волокнистую массу, усиливается её набухание, фибриляция и гидратация; волокна подвергаются более интенсивному трению, расщеплению и расчёсыванию; изменяется соотношение между длиной волокон и их шириной; волокна становятся более пластичными и гибкими. Эффективно увеличение ударного воздействия на волокна, возрастающее пропорционально квадрату скорости, увеличению секундной режущей длины. С понижением окружной скорости ротора и снижением давления в межножевой полости ударные воздействия на волокна становятся редкими, но интенсивными, что способствует укорочению волокон. Для получения коротковолокнистой массы с концентрацией 3–6 % целесообразно использовать дисковые мельницы с окружной скоростью 20...25 м/с. При получении длинных гибких и эластичных волокон окружная скорость роторного диска может составлять 24–40 м/с. Повышение же концентрации размалываемой массы до 20–40 % требует, по

условиям транспортирования массы по зоне размола, увеличения окружной скорости ротора дисковых мельниц до 50–130 м/с.

С увеличением окружной скорости увеличивается гидратирующее воздействие на волокно, что объясняется не механическим ножевым воздействием, а гидродинамическим. Интенсифицируется циркуляция массы, возможно возникновение кавитации и т. д. Возрастают непроизводительные затраты энергии на преодоление гидродинамических сопротивлений и на перемещение массы и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании работ некоторых ученых выявлены следующие положительные моменты размола массы высокой концентрации: повышаются показатели сопротивления раздиранию и растяжения бумаги и в целом это благоприятно сказывается на повышении механических свойств бумаги. Дополнительно процесс размола можно направить в сторону фибрилляции, что позволит сохранить природную длину волокна. Также размол массы высокой концентрации на дисковых мельницах дает более низкий удельный расход энергии благодаря меньшим гидродинамическим потерям.

Однако, ряд ученых считает, что при размоле массы высокой концентрации удельный расход энергии напротив увеличивается. Вместе с тем также выделяются и другие недостатки. К их числу относятся малый прирост степени помола, затрудненное прохождение волокнистым материалом зоны размола, поскольку при высокой концентрации суспензия теряет свойства текучести и приобретает свойства сыпучего вещества, наблюдается нагрев массы до высокой температуры.

Вместе с тем имеется противоречие относительно нагрева массы. При использовании гарнитур с прямолинейным расположением ножей масса нагревается до 80 °С. При использовании эвольвентных гарнитур масса нагревается всего до 50 °С, но это справедливо для массы низкой концентрации.

Анализ процесса размола массы высокой концентрации показывает, что наибольшее применение получили дисковые мельницы. Также для исследования свойств волокнистых суспензий используются шнековые машины. Безножевые машины обеспечивают более легкую транспортировку волокнистой массы. Однако прирост степени помола происходит медленнее, чем в дисковых мельницах.

Ножевой размол более эффективен, но существуют сложности с транспортировкой массы в зону размола, а также с её избыточным нагревом. Частично этот вопрос решается псевдооживлением суспензий, но для этого требуется дополнительное оборудование.

Тем не менее современные технологии процесса размола волокнистых полуфабрикатов и большая их востребованность в целлюлозно-бумажном производстве требует значительного совершенствования размола волокнистой массы высокой концентрации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Вихарев С.Н. Теория и конструкция машин для размола волокнистых полуфабрикатов. Екатеринбург : УГЛУТУ, 2014. 31 с.
2. Терентьев О.А. Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве. М. : Лесная промышленность, 1980. 248 с.
3. Иванов С.Н. Технология бумаги. М. ; Л. : Гослесбумиздат. 1970. 720 с.
4. Корда И., Либнар З., Прокоп И. Размол бумажной массы : учеб. для вузов. М. : Лесная пром-ть, 1967. 421 с.
5. Алашкевич Ю.Д., Решетова Н.С. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли : учеб. пособие / Сиб. гос. технологич. ун-т. Красноярск, 2015. 317 с.
6. Матвеев Б.П. Исследование основных факторов процесса размола сульфатной небеленой целлюлозы в дисковой мельнице при высокой концентрации : дис. ... канд. техн. наук. Л., 1971. 112 с.
7. Фляте Д.М. Технология бумаги : учебник для вузов. М. : Лесн. пром-ть, 1988. 440 с.
8. Влияние конструктивных параметров ножевой гарнитуры при размоле волокнистой массы / Е.В. Абросимов, О.Н. Федорова, Н.С. Решетова, Ю.Д. Алашкевич // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сб. статей. Красноярск, 2019. С. 306–310.
9. Васильев А.А. Оптимизация параметров ножевой гарнитуры для размола массы высокой концентрации: дис. ... канд. тех. наук. Л., 1983. 225 с.
10. Способ обработки волокнистой массы / Ю.А. Тихонов, О.А. Терентьев, С.С. Синегубов, А.А. Каменев, Р.О. Карапетян // Патент СССР SU1353857A1, 1987. Бюл. № 43.
11. Рублев А.И., Колобов Э.И. Способ размола волокнистого материала и устройство для его осуществления // Патент СССР SU1788114A1, 1993. Бюл. № 2.
12. Грудинин В.П. Способ обработки и транспортировки волокнистой массы при высокой концентрации и устройство для его осуществления // Патент России RU2303670C2, 2007. Бюл. № 21.
13. Шуркина В. И., Марченко Р. А., Алашкевич Ю. Д. Совершенствование ножевого размола волокнистых растительных полимеров в целлюлозно-бумажном производстве : монография ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2020. 178 с.

REFERENCES

1. Vikharev S.N. Teoriya i konstruktsiya mashin dlya razmola voloknistykh polufabrikatov. Ekaterinburg : UGLTU, 2014. 31 s.
2. Terent'yev O.A. Hidro dinamika voloknistykh suspenziy v tsellyulozno-bumazhnom proizvodstve. M. : Lesnaya promyshlennost', 1980. 248 s.
3. Ivanov S.N. Tekhnologiya bumagi. M. ; L. : Goslesbumizdat. 1970. 720 s.
4. Korda I., Libnar Z., Prokop I. Razmol bumazhnoy massy : ucheb. dlya vuzov. M. : Lesnaya prom-t', 1967. 421 s.
5. Alashkevich Yu.D., Reshetova N.S. Teoriya i konstruktsiya mashin i oborudovaniya otrasli : ucheb. Posobiye / Sib. gos. tekhnologich. un-t. Krasnoyarsk, 2015. 317 s.
6. Matveyev B.P. Issledovaniye osnovnykh faktorov protsessa razmola sul'fatnoy nebelenoy tsellyulozy v diskovoy mel'nitse pri vysokoy kontsentratsii : dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1971. 112 s.
7. Flyate D.M. Tekhnologiya bumagi : uchebnik dlya vuzov. M. : Lesn. prom-t', 1988. 440 s.
8. Vliyaniye konstruktivnykh parametrov nozhevoy garnitury pri razmole voloknistoy massy / E.V. Abrosimov, O.N. Fedorova, N.S. Reshetova, Yu.D. Alashkevich // Lesnoy i khimicheskii komplekсы – problemy i resheniya : sb. statey. Krasnoyarsk, 2019. S. 306–310.
9. Vasil'yev A.A. Optimizatsiya parametrov nozhevoy garnitury dlya razmola massy vysokoy kontsentratsii: dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1983. 225 s.
10. Sposob obrabotki voloknistoy massy / Yu.A. Tikhonov, O.A. Terent'yev, S.S. Sinigubov, A.A. Kameney, R.O. Karapetyan // Patent SSSR SU1353857A1, 1987. Byul. № 43.
11. Rublev A.I., Kolobov E.I. Sposob razmola voloknistogo materiala i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya // Patent SSSR SU1788114A1, 1993. Byul. № 2.
12. Grudin V.P. Sposob obrabotki i transportirovki voloknistoy massy pri vysokoy kontsentratsii i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya // Patent Rossii RU2303670S2, 2007. Byul. № 21.
13. Shurkina V. I., Marchenko R. A., Alashkevich Yu. D. Sovershenstvovaniye nozhevogo razmola voloknistykh rastitel'nykh polimerov v tsellyulozno-bumazhnom proizvodstve : monografiya ; SibGU im. M. F. Reshetneva. Krasnoyarsk, 2020. 178 s.

© Карелина А. А., Алашкевич Ю. Д.,
Ушаков А. В., 2022

Поступила в редакцию 20.07.2022
Принята к печати 10.11.2022