

ОСОБЕННОСТИ БЕЗНОЖЕВОГО РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ОДНОЛЕТНИХ РАСТЕНИЙ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

М. М. Литвинова, Ю. Д. Алашкевич, Р. А. Марченко

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: marg32883@gmail.com

Как известно, основным сырьем целлюлозно-бумажной промышленности используется, как правило, древесина хвойных и лиственных пород, но наиболее часто в технологии используют древесину хвойных пород. Учитывая особенности физико-механических характеристик готовых изделий из хвойной древесины по сравнению с древесиной лиственных пород, известно, что в сравнении этих двух видов древесины, у древесины хвойных пород волокна более длинные. А как известно, длина волокон имеет весомое значение, как для на бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов, так и физико-механические характеристики готовых изделий целлюлозно-бумажного производства. Учитывая необходимость использования в технологии целлюлозно-бумажного производства однолетних растений, естественно появляется необходимость исследования процессов волокнистых полуфабрикатов из однолетних растений, в сравнении с механизмом размола волокнистых полуфабрикатов из древесины, и в первую очередь из древесины хвойных пород.

Ключевые слова: бумажная продукция, бумага, растительные полимеры, целлюлоза.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 88–94

PECULIARITIES OF KNIFE-LESS MILLING OF FIBER SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM ANNUAL PLANTS IN PULP AND PAPER PRODUCTION

M. M. Litvinova, Y. D. Alashkevich, R. A. Marchenko

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: marg32883@gmail.com

As is known, the main raw material of the pulp and paper industry is usually coniferous and hardwood wood, but coniferous wood is most often used in technology. Taking into account the peculiarities of the physical and mechanical characteristics of finished products made of coniferous wood in comparison with hardwood, it is known that in comparison of these two types of wood, coniferous wood fibers are longer. And as you know, the length of the fibers is of great importance, both for the paper-forming properties of fibrous semi-finished products and the physical and mechanical characteristics of finished products of pulp and paper production. Given the need to use annual plants in pulp and paper production technology, it is naturally necessary to study the processes of fibrous semi-finished products from annual plants, in comparison with the grinding mechanism of fibrous semi-finished products from wood, and primarily from coniferous wood.

Keywords: paper products, paper, vegetable polymers, cellulose.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Производство бумаги сопряжено с целым рядом проблем, включая его ресурсоемкость и высокий уровень загрязнения окружающей среды. В дополнение к самому волокну, вода, энергия и химикаты играют решающую роль в процессе производства бумаги. Все эти факторы в совокупности способствовали давней репутации отрасли как одного из наиболее ресурсоемких и загрязняющих окружающую среду производственных секторов [1].

Для содействия устойчивому развитию целлюлозно-бумажной промышленности крайне важно инвестировать в разведку и использование альтернатив-

ных видов сырья. Традиционное производство бумаги в значительной степени зависит от древесных волокон, добываемых в лесах, что может способствовать обезлесению и разрушению среды обитания. Диверсифицируя ассортимент используемого сырья, такого как сельскохозяйственные отходы, недревесные волокна и вторично перерабатываемые волокна, промышленность может снизить свое воздействие на окружающую среду и зависимость от ограниченных ресурсов [2].

В зависимости от происхождения однолетних растений целлюлозные волокна можно разделить на несколько категорий:

1. Семенные волокна: Эти волокна расположены на поверхности семян и включают хлопок в качестве наиболее известного примера.

2. Фруктовые волокна: Эти волокна присутствуют во внешней оболочке или шелухе плодов. Примерами могут служить кокосовая койра и капок.

3. Стеблевые волокна: Эти волокна расположены внутри стебля растений. Примечательными примерами являются лен, конопля, джут и кенаф.

4. Волокна листьев: Эти волокна содержатся в листьях некоторых растений. Примерами могут служить абака, сизаль, хенеквен, для мамы и юкка.

Каждый вариант целлюлозного волокна обладает различными свойствами и областями применения. Всестороннее понимание разнообразного происхождения и характеристик этих волокон позволяет промышленным предприятиям эффективно использовать их в широком спектре производственных процессов, включая текстильное производство, производство бумаги и за его пределами. Наибольший интерес с точки зрения целлюлозно-бумажной промышленности вызывает техническая конопля.

Конопля, растение с годичным жизненным циклом, обычно достигает высоты 2–4 метров, хотя может вырасти и до 5–7 метров. Стебель растения конопля имеет диаметр от 3,5 до 15 мм у основания. Он растет вертикально и характеризуется отчетливыми листьями с зубчатыми краями. Период роста растения каннабис длится от 80 до 160 дней. Примечательно, что конопля проявляет адаптивность к различным типам почв, условиям освещения и температурам.

Производство высококачественной бескислотной бумаги из длинных лубяных волокон конопля требует меньшего количества химических добавок, чем бумага на древесной основе. Со временем конопляная бумага сохраняет свой цвет, долговечность и структурную целостность, не желтея и не становясь хрупкой, как обычная бумага. Кроме того, конопля оказалась более эффективным и целесообразным источником клетчатки по сравнению с деревьями. Исключительное качество и долговечность конопляной бумаги сделали ее высоко ценимой для длительного хранения важных документов, валюты и производства сигарет [3, с. 97].

В технологии целлюлозно-бумажного производства не зависимо от вида сырья важнейшим процессом является размол волокнистых полуфабрикатов, поэтому ему уделяют особое внимание, не только при использовании древесины, но и в качестве сырьевых волокон однолетних растений.

В течение длительного периода ученые в специальной технической литературе широко обсуждали основные механизмы, участвующие в размолу растительных волокон. В результате появилось несколько теорий размола, включая химическую теорию, предложенную Г. Кроссом, Э. Беваном и Х. Швальбе, физическую теорию, выдвинутую Дж. Страчаном и В. Кэмпбеллом, комбинированную гипотезу, сформулированную Дж. Кларком, и современную теорию размола, разработанную В. Н. Гончаровым и Ю. Д. Алашквичем. Согласно современной теории, при размолу

растительных волокон в водной среде на волокна воздействуют механические и гидродинамические эффекты, а также коллоидные и химические явления, обусловленные морфологическим строением и химическим составом этих волокон.

Механическое воздействие в процессе размола проявляется в разрезании волокон, дроблении, расчесывании с отделением пучков волокон и образованием отдельных ворсинок на поверхности волокон (внешняя фибрилляция). Гидродинамические эффекты в основном связаны с воздействием суспензии волокон на размалывающие элементы и стенки размольного агрегата. Эти гидродинамические эффекты добавляются к механическим воздействиям на волокна, которые также трутся друг о друга и о размольные элементы.

Современная теория размола не только объясняет превращения, происходящие в волокнах при размолу волокнистых масс, но и раскрывает влияние этих изменений на свойства бумажной массы. Например, значительное снижение прочности бумаги при намокании может быть связано с разрушением водородных связей между волокнами. Введение наполнителей и других органических или неорганических веществ, если они не образуют связей с целлюлозой, может привести к снижению прочности бумаги, вызывая расслоение волокон, нарушая контакт волокна с волокном и уменьшая силу сцепления.

В процессе размола волокнистая масса проходит ряд этапов обработки, в том числе [4]:

- 1) окончательное разделение пучков волокон на отдельные волокна;
- 2) разрушение поверхности первичной стенки (оболочки) волокна;
- 3) ускорение набухания;
- 4) внешняя и внутренняя фибрилляция;
- 5) выравнивание длины волокон – разрезание.

Нелегко определить, какой процесс производства бумаги является наиболее важным с точки зрения влияния на свойства конечного продукта. Несомненно, на свойства получаемой бумаги влияет совокупное воздействие всех процессов производства бумаги. Однако процесс размола бумажной массы уже давно признан чрезвычайно важным для получения широкого спектра свойств бумажного листа. Лист бумаги, изготовленный из не размолотых волокон, обладает неудовлетворительными характеристиками с точки зрения его структуры, внешнего вида и физико-механических свойств. Не молотые волокна обладают низкой пластичностью, плохо развитой поверхностью и ограниченным гидролизом, что приводит к недостаточному сцеплению между волокнами внутри бумажного листа.

Практическое использование и прогнозирование гидродинамических факторов в процессе размола на ножевых установках предполагает учет геометрических параметров набора ножей, в частности отношения высоты ножа к ширине зазора между соседними ножами. Эти явления также учитывают влияние других переменных, таких как расстояние между лопастями ротора и статора и скорость вращения ротора. Варьируя эти параметры, можно увеличить гидроди-

намический эффект размола по сравнению с механическим воздействием на волокно. Следовательно, это может потенциально повлиять на качество полуфабрикатов из размолотого волокна [4]. По сравнению с ножевым размол безножевой размол обеспечивает более мягкий и щадящий подход к переработке, что особенно важно для волокон, которые уже прошли стадию первоначального ножевого размола. Поэтому наряду с усовершенствованием систем ножей большое значение имеют исследования методов размола без ножей. Полуфабрикаты из волокна, обработанные без воздействия ножей на волокно, имеют отличные прочностные характеристики и отвечают требованиям современного бумажного производства [5]. Все методы и безножевые устройства, используемые для предварительной обработки и размола волокнистых материалов, основаны на явлениях, вызываемых жидкостью и зависящих от определенных гидродинамических факторов. В этих устройствах обработка волокнистых материалов обычно достигается сочетанием различных физических эффектов, которые можно разделить на следующие основные группы [4; 6; 7]:

1) кавитационный эффект: этот эффект возникает в результате возникновения, развития и схлопывания кавитационных пузырьков в жидкости при определенных условиях, а также их взаимодействия с волокнистым материалом;

2) эффект пульсации: этот эффект возникает в результате попеременного повышения или понижения гидравлического давления в суспензионной массе. Он тесно связан с генерацией волн давления и их распространением в жидкости, поэтому также часто используется термин «акустический эффект»;

3) эффект волокон: относится к воздействию волокон на твердые поверхности рабочих органов внутри машин;

4) гидродинамическое трение: этот эффект обусловлен силами трения, возникающими из-за вязкости и градиента скорости, присутствующих в движущейся жидкости.

В зависимости от способа воздействия на волокно безножевые машины делятся на различные типы, включая газоструйные диспергаторы, использующие принцип межвального дробления, центробежно-пульсационные, кавитационные, ультразвуковые методы и струйно-барьерный тип [8].

Безножевые струйно-барьерные установки играют ключевую роль в исследовании оптимальных условий размола волокнистых суспензий для производства высококачественной бумаги. По мнению исследователей, эти устройства позволяют получать массу с более развитыми волокнами без существенного укорачивания. Обширные усилия в этом направлении первоначально были предприняты В. Г. Марковым, а впоследствии продолжены и расширены Ю. Д. Алашкевичем и В. Г. Васютиным, которые разработали специализированные установки для безножевого размола волокнистого материала. В этих установках волокнистые суспензии через сопло выбрасывались на преграду [9].

Основополагающий принцип, лежащий в основе работы гидродинамических установок типа «струя-

преграда», заключается в выбросе струи взвеси из сопла, где она взаимодействует с препятствиями различной конфигурации. Струя не сразу погружается в воду. Автор выделяет три различных участка в зависимости от расстояния от сопла: компактный, частично фрагментированный и распыляемый.

На прочностные параметры волокна существенное влияние оказывает способ обработки волокнистой суспензии, что было продемонстрировано при испытании образцов. Работы академика РАО Ю. Д. Алашкевича и его учеников раскрывают качественные изменения в потоке струи из сопла в зависимости от диаметра сопла и силы воздействия струи на преграду. Авторы также отмечают возникновение кавитационных явлений при столкновении струи суспензии с препятствием, выдвигая предположения относительно их последствий. Эти установки демонстрируют более высокую эффективность при воздействии на волокна со скоростями, превышающими те, которые наблюдаются в известных системах типа «струя-преграда». Образование волокнистой суспензии может происходить в этих установках из-за касательных напряжений сдвига во время течения суспензии внутри удлинителя и сопла, а также воздействия струи суспензии на барьер при выходе из сопла и эффекта кавитации, когда жидкость проходит через барьер [4; 6; 7; 8]. Все вышеупомянутые полезные характеристики были тщательно изучены с использованием волокнистой массы из древесины качестве сырья.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Учитывая вышеизложенное, о целесообразности использования в качестве сырья в целлюлозно-бумажном производстве волокнистого полуфабриката из однолетних растений, в частности, технической конопли, в отличие от использования бисульфатной небеленой целлюлозы из древесины.

В работе были поставлены следующие задачи:

1. Провести исследования процесса безножевой обработки волокнистой суспензии технической конопли при сравнении с результатами обработки её на лабораторном центробежно-размольном аппарате (ЦРА).

2. Провести сравнение результатов безножевого размола двух различных волокнистых полуфабрикатов, одним из которых является бисульфатная небеленая целлюлоза из древесины, а вторым волокнистая масса из технической конопли.

Установка безножевого размола волокнистых полуфабрикатов (Патент № 2363792 С1) [9] имеет следующие основные характеристики: давление в рабочем цилиндре для выбрасывания волокнистой суспензии через сопло на преграду регулировалось от минимального значения до максимального – 12 МПа. Эксперимент проводился при давлении в рабочем цилиндре 12 МПа. Внутренний диаметр сопла для выбрасывания струи суспензии на преграду составляет – 2 мм. Скорость истечения струи суспензии из рабочего цилиндра составляла – 130 м/с.

Лабораторный ЦРА обеспечивал возможность регулирования скорости вращения рабочего барабана. В эксперименте скорость вращения барабана составляла – 150 об/мин. Количество инерционных грузов

установки, вращающиеся барабана составило – 6 штук. Угол установки насечек на инерционных грузах составляет 90° к горизонту.

Волокнистые суспензии технической конопли и бисульфитная небеленая целлюлоза из древесины имели одинаковую концентрацию и составляли – 1 %.

Бисульфитная небеленая целлюлоза изготавливалась из смешанных пород хвойной древесины. Среди которых были: сосна, ель, пихта и в небольшом объеме лиственница. Процентное соотношение хвойных пород древесины в общей массе не регулировалось и определялось наличием поставляемой древесины на предприятие.

Оценка показателей помола волокнистых полуфабрикатов оценивалась наличием качественных показателей их бумагообразующих свойств и физико-механических показателей готовых изделий (отливки из размолотых полуфабрикатов).

Исследовались следующие бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов: прирост степени помола по шкале Шоппер–Риглера, изменение длины волокна при размоле, водоудерживающая способность. Определялись следующие физико-механические показатели готовых отливок после размола: разрывная длина, сопротивление к продавливанию, сопротивление на излом (число двойных перегибов).

На рис. 1 представлена зависимость степени помола по методике Шоппер–Риглера от времени размола. Как видно из графика качественные зависимости безножевого размола и с использованием центробежно-размольной установки носят идентичные характеры –

параболические. Количественные зависимости отличаются друг от друга. В частности, максимальные значения степени помола наблюдаются при размоле массы технической конопли безножевым способом. Усредненные количественные зависимости наблюдаются при размоле технической конопли в ЦРА. И минимальные количественные зависимости наблюдаются при размоле бисульфитной небеленой целлюлозы из древесной массы безножевым способом.

При безножевом размоле волокнистой массы из древесины наблюдаются более низкие показатели. При сравнении безножевого способа размола массы из технической конопли и бисульфитной небеленой целлюлозы из древесной массы более высокие показатели прироста степени помола наблюдаются у технической конопли. Сравнивая результаты размола волокнистой массы из технической конопли при использовании двух различных установок, наилучшие показатели были при безножевом размоле.

На рис. 2 представлена зависимость водоудерживающей способности от степени помола. Водоудерживающая способность волокнистой массы может быть использована для характеристики степени набухания волокон, как предложено Джайме [10]. Из рисунка видно, что качественные и количественные зависимости имеют значительные различия. Так, независимо от вида исследуемого материала и способов размола наблюдается рост водоудерживающей способности материала, с увеличением значения степени помола. При безножевом размоле технической конопли зависимость носит параболический характер.

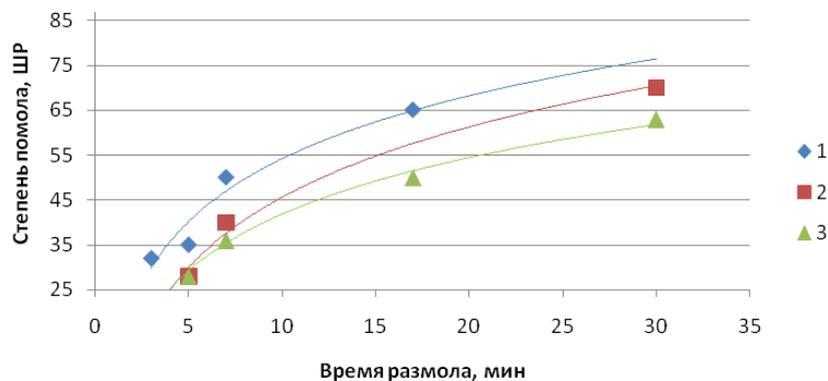


Рис. 1. Прирост степени помола по шкале Шоппер–Риглера от времени:

1 – размол технической конопли на безножевой установке; 2 – размол технической конопли на ЦРА; 3 – размол хвойной бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке

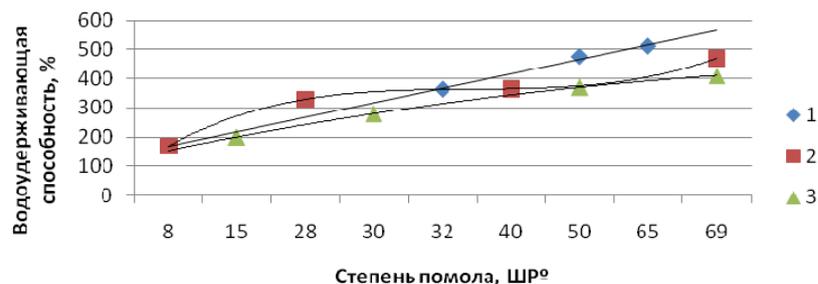


Рис. 2. Изменение водоудерживающей способности от степени помола по шкале Шоппер–Риглера:

1 – размол технической конопли на безножевой установке; 2 – размол технической конопли на ЦРА; 3 – размол хвойной бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке

Размол технической конопля на ЦРА и бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке подчиняются зависимостям близким к линейным. Максимальные значения водоудерживающей способности наблюдается при безножевом размоле технической конопля и далее видно снижение этого показателя при размоле технической конопля на ЦРА, и самый низкий показатель водоудерживающей способности наблюдается у волокнистой массы из бисульфитной небеленой целлюлозы, при размоле её на безножевой установке.

На рис. 3 представлены зависимости длины волокна при размоле от степени помола. Как видно из рисунка качественные и количественные зависимости имеют различный характер и зависят как от степени помола, так и от вида размалываемого полуфабриката. Во всех трех случаях, как и следовало ожидать, наблюдается снижение длины волокна при размоле полуфабрикатов. Вместе с тем наблюдается различная интенсивность снижения длины волокна при размоле полуфабриката. При безножевом размоле технической конопля с увеличением степенью помола до 50 ШР° наблюдается небольшая интенсивность снижения длины волокна. С дальнейшим увеличением степени помола интенсивность снижения длины волокна резко увеличивается. Для сравнения при безножевом размоле технической конопля при получении длины волокна в пределах (2,2–2,4 мм) желательно выдерживать степень помола в пределах 50 ШР°. При размоле технической конопля с использованием ЦРА и безножевом размоле бисульфитной небеленой целлюлозы в отличие от безножевого размолы технической конопля, наблюдается, более плавное изменение длины волокна при увеличении степени помола до 70 ШР°. При достижении степени

помола до 70 ШР° длина волокна при безножевом размоле технической конопля составляла 1,5 мм. При размоле технической конопля с использованием ЦРА длина волокна составляла 1,3 мм, и при безножевом размоле бисульфитной небеленой целлюлозы длина волокон составила 2 мм.

Для получения широкораспространенных видов бумаг степень помола полуфабрикатов составляет при этом значения, близкие к 30 ШР°. Для этой степени помола длина волокна при безножевом размоле не зависит от вида полуфабриката близки друг к другу и составляют 2,3 мм для технической конопля, 2,5 мм для бисульфитной небеленой целлюлозы, и 2 мм для размолы технической конопля на ЦРА.

На рис. 4 представлена зависимость разрывной длины готовых изделий от степени помола волокнистой массы. Из рисунка видно, что качественные зависимости разрывной длины готовой продукции имеют различные закономерности, зависящие как от вида размалываемого волокнистого полуфабриката, так и от его способа размолы. Аналогичная картина при размоле волокнистых полуфабрикатов, наблюдается, и при анализе количественных зависимостей. Так, при размоле волокнистой массы из технической конопля, не зависит от способа её обработки качественные зависимости аналогичны друг другу, а количественные значительно ниже чем при безножевом размоле волокнистой массы бисульфитной небеленой целлюлозы из хвойных пород древесины. Не зависит от вида волокнистого полуфабриката, подвергаемого размолу и способа его размолы с приростом степени помола по шкале Шоппер–Риглера (ШР°), наблюдается, рост значений показателя разрывной длины.

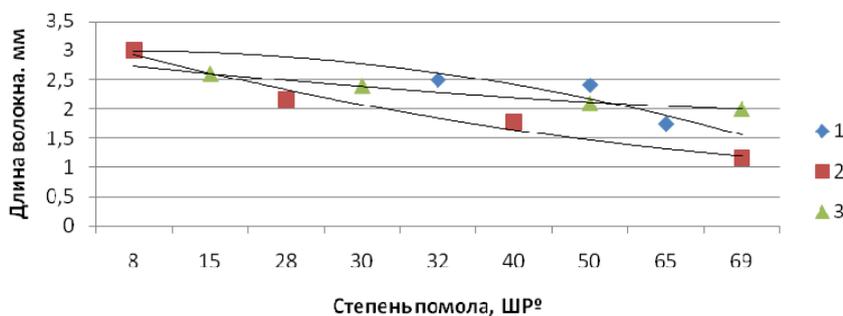


Рис. 3. Изменение длины волокна от степени помола по шкале Шоппер–Риглера:

1 – размол технической конопля на безножевой установке; 2 – размол технической конопля на ЦРА; 3 – размол хвойной бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке

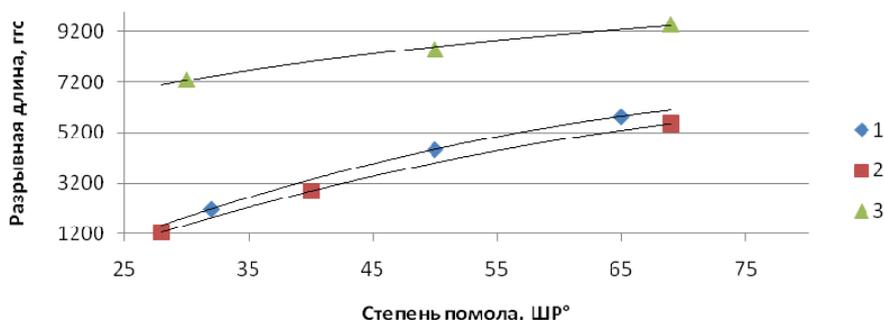


Рис. 4. Значения показателей разрывной длины при изменении степени помола по шкале Шоппер–Риглера:

1 – размол технической конопля на безножевой установке; 2 – размол технической конопля на ЦРА; 3 – размол хвойной бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке

На рис. 5 представлен характер изменения продавливания у готовых отливок в зависимости от двух видов волокнистых полуфабрикатов и различных способов их размола. Как видно из рисунка характер изменения величины продавливания как в качественных, так и в количественных значениях очень близки к изменению показателя разрывной длины. Разница между двумя показателями, заключается в абсолютных значениях этих величин и качественных значений их изменения при безножевом размоле волокнистой массы из бисульфитной небеленой целлюлозы хвойных пород древесины. Изменение величины продавливания при безножевом размоле бисульфитной небеленой целлюлозы представляет собой линейную зависимость.

На рис. 6 представлены данные по числу двойных перегибов при размоле технической конопли и бисульфитной небеленой целлюлозы из древесины хвойных пород. В отличие от изменения разрывной

длины и величины продавливания, закономерности изменения числа двойных перегибов, в корне отличаются. Изменения заключаются в следующем: качественные изменения при безножевом размоле бисульфитной небеленой целлюлозы для всех трех физико-механических показателей были близки друг к другу и представляли собой зависимости близкие к линейным. Что касается количественных значений изменения физико-механических характеристик отливок после безножевого размола бисульфитной небеленой целлюлозы, то они резко отличаются. Для показателей разрывной длины и величины продавливания они имели максимальные значения, а для числа двойных перегибов эти показатели находились на минимуме. Что касается, качественных и количественных изменений числа двойных перегибов при безножевом размоле технической конопли и размоле технической конопли на ЦРА, то они отличаются друг от друга.

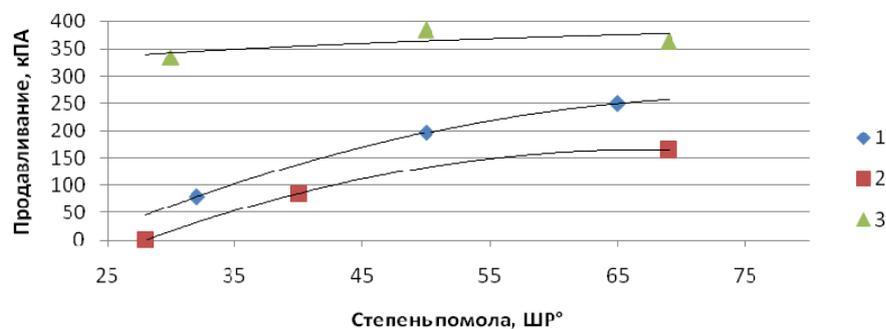


Рис. 5. Значение величины продавливания образцов при изменении степени помола по шкале Шоппер–Риглера:
1 – размол технической конопли на безножевой установке; 2 – размол технической конопли на ЦРА;
3 – размол хвойной бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке

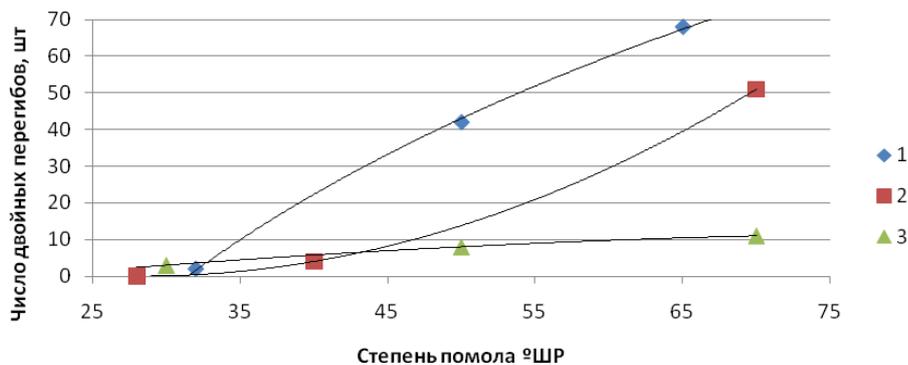


Рис. 6. Число двойных перегибов при изменении степени помола по шкале Шоппер–Риглера:
1 – размол технической конопли на безножевой установке; 2 – размол технической конопли на ЦРА;
3 – размол хвойной бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке

ВЫВОДЫ

1. На основании анализа литературных источников по использованию вида сырья в целлюлозно-бумажном производстве с учетом важности сохранения древесины целесообразно расширение использования однолетних растений и, в частности, технической конопли с учетом особенностей культивирования её в условиях России.

2. При получении высоких показателей бумагообразующих свойств волокнистого сырья и физико-механических особенностей готовых образцов, целе-

сообразно применять безножевой способ размола волокнистых полуфабрикатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Paper production – and waste – to double [Электронный ресурс]. URL: <https://www.theworldcounts.com/stories/Paper-Waste-Facts>.

2. Where does your paper come from? The good and the bad news [Электронный ресурс]. URL: <https://www.popsoci.com/environment/paper-products-sustainability/>.

3. Конкурсное сортоиспытание перспективного селекционного материала конопли посевной / В. А. Серков, Р. О. Белоусов, М. Р. Александрова, О. К. Давыдова // Нива Поволжья. 2019. № 2(51). С. 91–100.

4. Марченко Р. А. Интенсификация безножевого размола волокнистых полуфабрикатов в целлюлозно-бумажном производстве : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.03 / Марченко Роман Александрович [Место защиты: Сибирский государственный технологический университет], 2016. 161 с.

5. Леготский С. С., Гончаров В. Н. Размалывающие оборудование и подготовка бумажной массы [Текст]. Москва : Лесная промышленность, 1990. 224 с.

6. Ерофеева А. А. Безножевой размол волокнистых полуфабрикатов с учетом реологических особенностей суспензий : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.03 / Ерофеева Анна Александровна [Место защиты: Сиб. гос. технол. ун-т]. Красноярск, 2012. 134 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/1842.

7. Кутовая Л. В. Комплексный параметр процесса обработки волокнистых суспензий безножевым способом в установке типа «Струя-Преграда» : специальность 05.21.03 «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины» : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Кутовая Лариса Владимировна. Красноярск, 1998. 20 с.

8. Ерофеева А. А., Ковалев В. И., Алашкевич Ю. Д. и др. Анализ распределения скорости струи суспензии при течении её в рабочих органах размольной установки «струя-преграда» // Вестник Московского Государственного университета леса – лесной вестник. 2010. С. 147–150.

9. Патент № 2363792 С1 Российская Федерация, МПК D21C 1/00. установка для измельчения волокнистого материала : № 2008119775/12 : заявл. 19.05.2008 : опубл. 10.08.2009 / Ю. Д. Алашкевич, В. И. Ковалев, А. И. Невзоров, Р. А. Марченко ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный технологический университет».

10. Сергеева А. С. Технологический контроль целлюлозно-бумажного производства : учебное пособие для вузов. Москва : Лесная промышленность, 1969. 216 с. Текст : непосредственный.

REFERENCES

1. Paper production – and waste – to double [Электронный ресурс]. URL: <https://www.theworldcounts.com/stories/Paper-Waste-Facts>).

2. Where does your paper come from? The good and the bad news [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.popsoci.com/environment/paper-products-sustainability/>.

3. Konkursnoye sortoispytaniye perspektivnogo selektsionnogo materiala konopli posevnoy / V. A. Serkov, R. O. Belousov, M. R. Aleksandrova, O. K. Davydova // Niva Povolzh'ya. 2019. № 2(51). S. 91–100.

4. Marchenko R. A. Intensifikatsiya beznozhevoogo razmola voloknistykh polufabrikatov v tsellyulozno-bumazhnom proizvodstve : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.21.03 / Marchenko Roman Aleksandrovich [Mesto zashchity: Sibirskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet], 2016. 161 s.

5. Legotskiy S. S., Goncharov V. N. Razmalyvayushchiye oborudovaniye i podgotovka bumazhnoy massy [Tekst]. Moskva : Lesnaya promyshlennost', 1990. 224 s.

6. Erofeyeva A. A. Beznoshevoy razmol voloknistykh polufabrikatov s uchetom reologicheskikh osobennostey suspenziy : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.21.03 / Erofeyeva Anna Aleksandrovna [Mesto zashchity: Sib. gos. tekhnol. un-t]. Krasnoyarsk, 2012. 134 s.: il. RGB OD, 61 12-5/1842.

7. Kutovaya L. V. Kompleksnyy parametr protsessa obrabotki voloknistykh suspenziy beznozhevym sposobom v ustanovke tipa "Struya-Pregrada" : spetsial'nost' 05.21.03 "Tekhnologiya i oborudovaniye khimicheskoy perera-botki biomassy dereva; khimiya drevesiny" : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / Kutovaya Larisa Vladimirovna. Krasnoyarsk, 1998. 20 s.

8. Erofeyeva A. A., Kovalev V. I., Alashkevich Yu. D. i dr. Analiz raspredeleniya skorosti strui suspenzii pri techenii eye v rabochikh organakh razmol'noy ustanovki «struya-pregrada» // Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo universiteta lesa – lesnoy vestnik. 2010. S. 147–150.

9. Patent № 2363792 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK D21C 1/00. ustanovka dlya izmel'cheniya voloknistogo materiala : № 2008119775/12 : zayavl. 19.05.2008 : opubl. 10.08.2009 / Yu. D. Alashkevich, V. I. Kovalev, A. I. Nevzorov, R. A. Marchenko ; zaya-vitel' Gosudarstvennoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego professional'nogo obrazovaniya "Sibirskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet".

10. Sergeeva A. S. Tekhnologicheskii kontrol' tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva : uchebnoye posobiye dlya vuzov. Moskva : Lesnaya promyshlennost', 1969. 216 s. Tekst : neposredstvennyy.

© Литвинова М. М., Алашкевич Ю. Д.,
Марченко Р. А., 2024

Поступила в редакцию 20.10.2023
Принята к печати 15.04.2024