

УДК 676.15

## ВЛИЯНИЕ НОЖЕВОГО СПОСОБА РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ НА ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

© Ю.Д. Алашкевич, Л.В. Юртаева\*, Н.С. Решетова, Р.А. Марченко

*Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, пр. Мира, 82, Красноярск, 660049 (Россия),  
e-mail: donna\_5@mail.ru*

В данной работе представлены классификация получаемых видов порошковых целлюлозных материалов, сферы их применения, а также проблемы, возникающие при производстве. Рассмотрены основные свойства порошковых целлюлозных материалов. Проанализированы качественные показатели волокнистой массы, предварительно размолотой на дисковой мельнице. Представлены основные технологические параметры экспериментальной установки и сравнительная характеристика используемых ножевых размалывающих гарнитур. В ходе проведения экспериментальных исследований применялись ножевые размалывающие гарнитуры с прямолинейной и криволинейной формой ножей. Полученные данные подтвердили ранее выдвинутое предположение о преимущественном фибриллировании целлюлозного волокна, размолотого с использованием размалывающей гарнитуры с криволинейной формой ножей. Эта особенность конструкции гарнитуры особенно важна при размоле лиственной целлюлозы, обладающей более низкими исходными показателями, в сравнении с хвойной целлюлозой. Представлены данные, полученные при определении степени помола, водоудерживающей способности, длины волокна хвойной и лиственной целлюлозы после ножевого размола и степени полимеризации после проведенного гидролиза. Рассмотрен способ получения порошкового целлюлозного материала с характеристиками, подобными микрокристаллической целлюлозе. Заданы регулируемые параметры процесса гидролиза и произведено сравнение степени полимеризации рассмотренных образцов порошковой целлюлозы.

*Ключевые слова:* порошковая целлюлоза, размол, ножевая размалывающая гарнитура, дисковая мельница, кислота, гидролиз, волокнистая масса, длина волокна, фибриллирование, степень полимеризации.

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

### Введение

Основным видом природного волокнистого сырья, применяемого в целлюлозно-бумажной, химической, медицинской, фармацевтической, пищевой промышленности и в других отраслях народного хозяйства, являются порошковые целлюлозные материалы. В настоящее время в мире производится около 200 тыс. тонн порошковых целлюлозных материалов в год [1–3]. В соответствии с общепринятой классификацией их подразделяют на: порошковую целлюлозу (ПЦ); микрокристаллическую целлюлозу (МКЦ) и нанокристаллическую целлюлозу (НКЦ), различие между ними в размерах кристаллитов; микрофибрилярную целлюлозу (МФЦ) и нано-

---

*Алашкевич Юрий Давыдович* – доктор технических наук, профессор кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, тел. (391) 227-36-54, e-mail: alashkevichud@sibsau.ru

*Юртаева Лариса Владимировна* – доцент, кандидат технических наук, e-mail: 2052727@mail.ru

*Решетова Наталья Сергеевна* – доцент, кандидат технических наук, e-mail: reshet@list.ru

*Марченко Роман Александрович* – и.о. заведующего кафедрой машин и аппаратов промышленных технологий, кандидат технических наук, тел. (391) 290-42-92, e-mail: marchenkora@sibsau.ru

фибрилярную целлюлозу (НФЦ), сохраняют волокнистую (фибрилярную) морфологию [4, 5].

Порошковая целлюлоза получается деструкцией волокнистого сырья и содержит не менее 92% целлюлозы в своем составе и обладает свойствами, несколько отличными от свойств волокнистой целлюлозы. ПЦ – это белый порошок без запаха, нерастворимый в воде, этаноле, эфире и разбавленных минеральных кислотах, а также малорастворимый в растворе гидроксида натрия. ПЦ способна набухать

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

в воде, разбавленных кислотах и большинстве растворителей, в то время как щелочные растворы приводят к набуханию и растворению присутствующей в ней гемицеллюлозы [6]. В сравнении с МКЦ и НКЦ порошковая целлюлоза обладает более низкой степенью кристалличности (СК), меньшей химической чистотой, содержит примеси гемицеллюлозы и лигнина.

Микрокристаллическая целлюлоза представляет собой мелкодисперсный продукт, кристаллиты микрофибрилл целлюлозы (без аморфной части), порошок модифицированной природной (волоконистой) целлюлозы. В зависимости от исходного целлюлозного материала и условий ее получения средние размеры частиц порошковой целлюлозы находятся в пределах от 1 до 400 мкм, степень полимеризации – в диапазоне от 30 до 350. МКЦ может быть получена из древесной массы, хлопковых волокон, камыша, злаков и подсолнечника, стеблей джута и льна в результате механической, термомеханической, химической обработки исходного волокна, путем высаживания целлюлозы из ее растворов в форме порошка, а также радиационно-химическим способом. МКЦ, в отличие от МФЦ, НФЦ и ПЦ с невысокой степенью кристалличности, способна образовывать в воде тиксотропные гелеобразные дисперсии за счет высокоразвитой гидрофильной поверхности, содержащей большое число активных гидроксильных групп, и при этом обладает невысокой молекулярной массой [7].

Микрофибриллярная целлюлоза представляет собой фибриллированный материал, содержащий различные структурные компоненты (волокна целлюлозы и ее фрагменты, фибриллы и нанофибриллы) [8, 9].

Известно, что СП у порошковых целлюлоз полностью зависит от метода получения [10, 11]. Установлено, что в зависимости от вида обработки волоконистой массы уменьшается ее степень полимеризации, увеличивается степень чистоты, повышается содержание упорядоченной части с кристаллической ориентацией макромолекул, появляются специфические свойства [12].

К основным свойствам порошковых целлюлозных материалов относят: сверхпрочность, псевдопластичность и сверхлегкость. Они способны улучшать свойства самых разных материалов, делая возможным создавать материалы с качественно и количественно новыми характеристиками. Связано это с тем, что для материала таких малых масштабов (по сравнению с обычными) существенным образом изменяются фундаментальные характеристики: модуль упругости, удельная теплоемкость, коэффициент диффузии, магнитные свойства и др., что, в свою очередь, приводит к изменению механических свойств исходного вещества [6].

Анализ литературных данных показал, что за счет улучшенных технических характеристик, которыми начинает обладать материал при добавлении в его композицию порошковых целлюлозных материалов, в настоящее время наблюдается непрерывный рост производства порошковых целлюлозных материалов.

### *Экспериментальная часть*

Проблемой при получении порошковых целлюлозных материалов химическим способом является утилизация отработанного раствора кислоты.

На кафедре машин и аппаратов промышленных технологий СибГУ им. М.Ф. Решетнёва проводятся исследования процесса получения порошковой целлюлозы механико-химическим способом. С целью снижения негативного воздействия на окружающую среду нами предлагается использовать предварительную механическую деструкцию волокна целлюлозы за счет процесса ножевого размола, что позволит сократить расходы на проведение дальнейшей ее химической обработки.

В настоящее время установлено, что при размоле волоконистой массы осуществляются процессы: механического воздействия размалывающей гарнитуры на растительные волокна с изменением их формы и размеров; и коллоидно-химические, проявляющееся в виде гидратации волокон. На наш взгляд, укорочение и набухание волокон, их продольное расщепление на фибриллы будут способствовать повышению проникающей способности кислоты в структуру волокна при проведении гидролиза.

Объектом исследования является продукция ОАО «Группа «Илим» в г. Братске: белая сульфатная хвойная целлюлоза (БСХЦ) и белая сульфатная лиственная целлюлоза (БСЛЦ).

Целью данной работы являлось определение влияния использования гарнитуры различной формы ножей на процесс получения порошковой целлюлозы.

На данном этапе исследований было проведено следующее:

- обработка волоконистой массы механическим (ножевым) способом с использованием размалывающих гарнитур с различным профилем ножей;
- определение ряда свойств волоконистой суспензии;
- обработка волоконистой массы химическим способом;
- определение вязкости и степени полимеризации порошковой целлюлозы.

На рисунке 1 представлена схема экспериментальной установки ножевого размола и приведена ее техническая характеристика: габаритные размеры дисковой мельницы – 0.95 м×0.6 м×0.8 м; межножевой зазор – 0–6 мм; число оборотов вала ротора – 0–2000 об./мин; материал ножевой гарнитуры – Сталь 40ХН; номинальная мощность двигателя – 22 кВт; число оборотов выходного вала двигателя – 750 об./мин.

Размол волокнистой суспензии концентрацией 2% осуществлялся в полупромышленной дисковой мельнице с 15 °ШР до 65 °ШР. Частота вращения ротора – 1500 об./мин и межножевой зазор – 0.1 мм были выбраны как наиболее эффективные с точки зрения продолжительности размола и степени разработки волокна, на основании ранее проведенных на кафедре МАПТ исследований [13–14].

Конструктивные и технологические характеристики рассмотренных в данной работе рисунков гарнитур с прямолинейной [15] и с криволинейной [16] формой ножей, разработанных группой ученых кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, представлены на рисунке 2. Исходя из определенных нами значений секундной режущей длины и площади контакта ножей ротора и статора, можно предположить, что при прочих равных условиях наибольший рубящий эффект будет достигнут при использовании гарнитуры с прямолинейной формой ножей. Криволинейная форма ножей, в свою очередь, будет способствовать снижению усилий, действующих на волокно по касательной, т.е. будет преобладать фибриллирование.

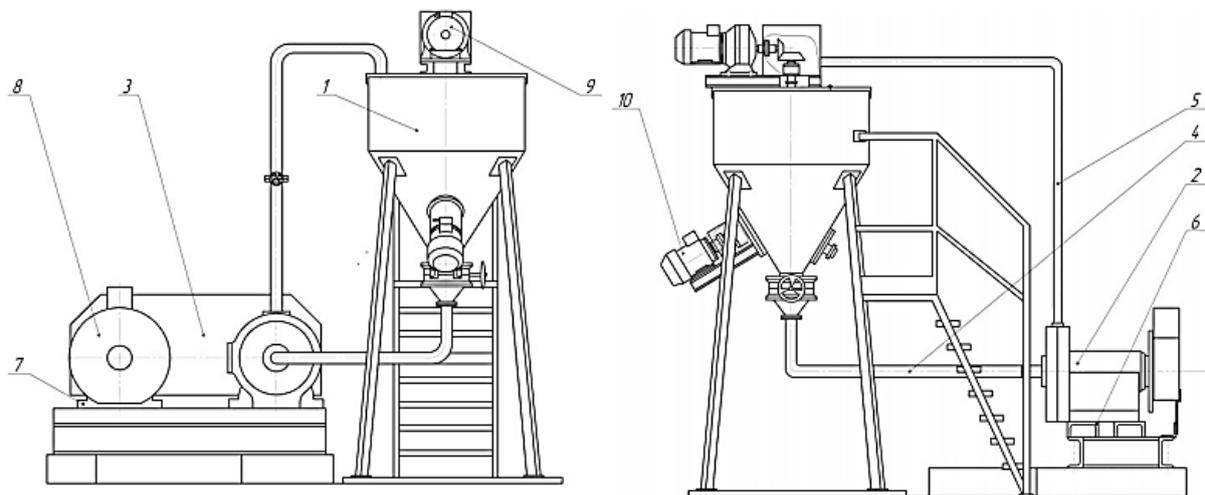


Рис. 1. Схема экспериментальной установки ножевого размола:

1 – гидроразбиватель; 2 – дисковая мельница; 3 – ременная передача; 4 – труба нагнетательная; 5 – труба циркуляционная; 6 – рама; 7 – крепление; 8, 9, 10 – электродвигатель

### Обсуждение результатов

Данные, полученные в результате определения степени помола по Шоппер-Риглеру, водоудерживающей способности, длины волокна подтверждают сделанное предположение о направлении воздействия ножей прямолинейной и криволинейной форм на волокно, и спрогнозировать получение порошковой целлюлозы с различной степенью полимеризации.

Так как в результате размола волокнистой массы осуществляется разработка волокна как в продольном (фибриллирование), так и в поперечном (рубка) направлениях, то при этом повышается степень помола и водоудерживающая способность волокнистой массы, а также происходит укорочение волокон (рис. 3, 4). Причем наиболее интенсивно этот процесс происходит при воздействии на волокно ножей криволинейной формы.

Начальная разработка волокна БСЛЦ происходит интенсивнее, чем у БСХЦ, при этом прямолинейный характер рисунка гарнитуры способствует быстрому увеличению степени помола. Однако рост степени помола в промежутке от 30 до 60 °ШР значительно интенсивнее происходит у хвойной целлюлозы, что объясняется различием в строении волокон хвойной и лиственной древесины.

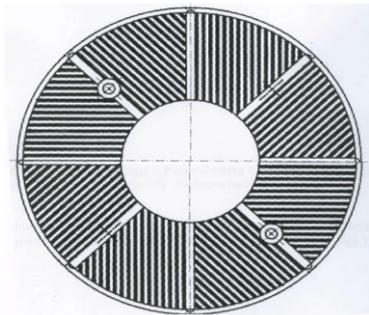
Как видно из представленных данных на рисунке 4 после механической обработки БСХЦ и БСЛЦ рассмотренные свойства изменились следующим образом: длина волокна уменьшилась соответственно на

20% и 30%, водоудерживающая способность в среднем увеличилась в 2 раза для рассмотренных видов целлюлозы. Наибольшее значение показателя водоудерживающей способности наблюдается у БСХЦ размолотой на гарнитуре с криволинейной формой ножей.

Таким образом, использование гарнитуры с криволинейной формой ножей позволяет добиться незначительного укорочения волокон при высоких значениях показателя водоудерживающей способности. Это говорит об увеличении поверхности волокна и большей фибрилляции волокон. При внешней и внутренней фибрилляции волокон увеличивается их удельная поверхность и освобождается большое число целлюлозных гидроксильных групп. Это будет способствовать лучшему проникновению кислоты в структуру волокна при проведении гидролиза для получения порошковой целлюлозы, что, как следствие, позволит сократить продолжительность и температуру проведения реакции, использовать кислоты более низкой концентрации.

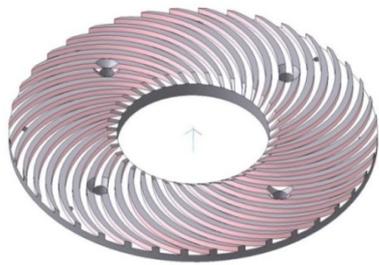
После размола волокнистую массу подвергали гидролизу с целью усиления разрушения структуры целлюлозы. Порошковую целлюлозу получали методом кислотного гетерогенного гидролиза по схеме, включающей приготовление гидролизующего раствора, гидролиз целлюлозы, промывку, сушку, диспергирование и сортирование полученного целлюлозного порошка.

Регулируемыми параметрами процесса гидролиза являются температура и концентрация кислоты. Так как концентрация кислоты зависит от температуры реакции, то чем выше температура нагрева, тем менее концентрированный раствор кислоты следует использовать. В связи с этим было изучено влияние на результаты процесса гидролиза целлюлозы трех факторов: температуры гидролиза (интервал варьирования 70–120 °С), его продолжительности (интервал варьирования 60–120 мин) и концентрации соляной кислоты (интервал варьирования 2–4%). Гидро модуль оставался постоянным (15 : 1). Оптимальные условия гидролиза определяли с помощью математического планирования эксперимента по трехфакторному плану Бокса. Входные параметры плана: температура  $x_1$  и продолжительность  $x_2$  гидролиза, концентрация регулирующего агента  $x_3$ . Постоянными во всех точках эксперимента были: гидро модуль (15 : 1), условия промывки, сушки, размола и сортирования. В качестве выходных параметров выбраны: выход  $u_v$ , степень полимеризации  $u_{c.п}$  и белизна  $u_b$  порошковой целлюлозы.



а

- наружный и внутренний диаметры:  $D = 290$  мм,  $d = 130$  мм;
- толщина и высота ножа:  $\delta = 3$  мм;  $h = 3$  мм;
- ширина канавки,  $b = 4$  мм;
- секундная режущая длина,  $L_s = 14400$  м/с;
- площадь контакта ножей ротора и статора,  $F = 0.013$  м<sup>2</sup>;
- отношение площади поверхности ножей к общей площади поверхности гарнитуры,  $F_{разм.}/F_{общ.} = 45\%$



б

- наружный и внутренний диаметры:  $D = 300$  мм,  $d = 120$  мм;
- толщина и высота ножа:  $\delta = 6$  мм;  $h = 5$  мм;
- ширина канавки,  $b = 6$  мм;
- секундная режущая длина,  $L_s = 5600$  м/с;
- площадь контакта ножей ротора и статора,  $F = 0.010$  м<sup>2</sup>;
- отношение площади поверхности ножей к общей площади поверхности гарнитуры,  $F_{разм.}/F_{общ.} = 41\%$

Рис. 2. Схема и характеристика ножевых размалывающих гарнитур:

а – гарнитура традиционная восьмисекторная с прямолинейной формой ножей с углом 45°;

б – гарнитура с криволинейными ножами серповидной формы

Рис. 3. Зависимость степени помола от продолжительности размола  
 1 – гарнитура с криволинейной формой ножей, хвойная целлюлоза;  
 2 – гарнитура с криволинейной формой ножей, лиственная целлюлоза;  
 3 – гарнитура с прямолинейной формой ножей, хвойная целлюлоза;  
 4 – гарнитура с прямолинейной формой ножей, лиственная целлюлоза

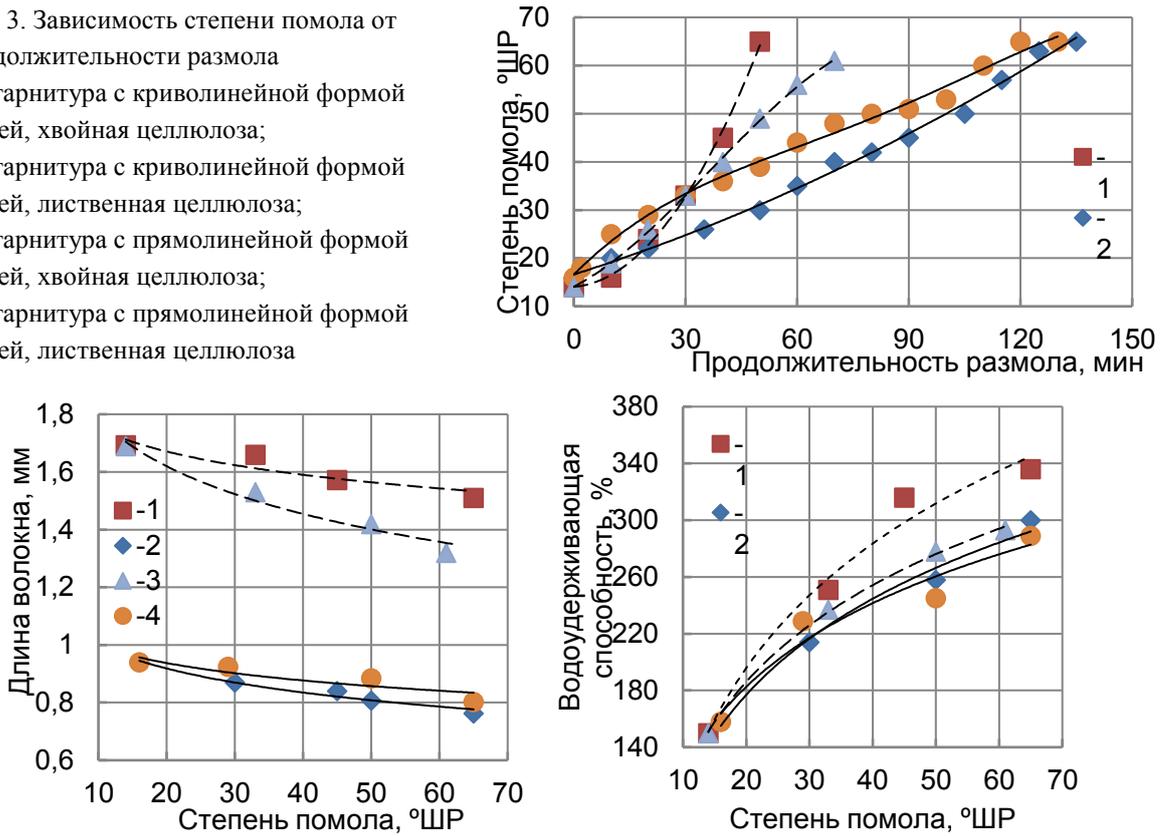


Рис. 4. Зависимость длины волокна и водоудерживающей способности волокнистой массы от продолжительности размола: 1 – гарнитура с криволинейной формой ножей, хвойная целлюлоза; 2 – гарнитура с криволинейной формой ножей, лиственная целлюлоза; 3 – гарнитура с прямолинейной формой ножей, хвойная целлюлоза; 4 – гарнитура с прямолинейной формой ножей, лиственная целлюлоза

В результате оптимизации гидролиз (химическая обработка) образцов целлюлозы после размола проводился при прочих равных условиях: температура  $t = 85^\circ\text{C}$ , в присутствии 2.5% соляной кислоты  $\text{HCl}$ , на установке для гидролиза продолжительностью 75 мин. Степень полимеризации (СП) определяли по вязкости ее железовиннонатриевого раствора [17–20].

Анализ полученных данных показал, что в результате кислотного гидролиза СП порошковой целлюлозы независимо от вида целлюлозы с увеличением степени помола обрабатываемой волокнистой массы СП порошковой целлюлозы снижается, у образцов из БСХЦ – в среднем на 0.4%, из БСЛЦ – на 0.3%. Так, СП у образцов из БСХЦ с начальной степенью помола  $15^\circ\text{ШР}$  составила 173, с конечной степенью помола –  $65^\circ\text{ШР}$  – 115, у образцов из БСЛЦ – 270 и 216 соответственно.

### Выводы

Сравнение качественных показателей волокнистой массы, размолотой ножевым способом с использованием гарнитур с различной формой ножей, показало, что преимущественная фибрилляция как хвойной, так и лиственной целлюлозы достигается в результате размола с использованием криволинейной формы ножей. Это особенно важно при разработке лиственной целлюлозы, обладающей изначально более низкими значениями качественных показателей, чем у хвойной.

На основании проведенного исследования показана возможность использования предварительного ножевого размола волокнистых материалов при получении порошковой целлюлозы.

В результате механической обработки за счет рубки и фибрилляции меняются степень помола, водоудерживающая способность и длина волокна целлюлозной суспензии, а в результате химической обработки происходят изменения в составе за счет частичного гидролиза целлюлозы и легкогидролизуемых полисахаридов.

Проведение обработки БСХЦ и БСЛЦ механико-химическим способом обеспечивает получение продукта с характеристиками, подобными микрокристаллической целлюлозе.

### Список литературы

1. Microcrystalline Cellulose (MCC) Market by Source Type and Application: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast 2018–2025. Allied Market Research. Portland, 2018. 212 p.
2. Cellulose Powder Market – Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2018–2025. Researchstore.biz. US, 2018. 99 p.
3. Miller J. Nanocellulose: Producers, Products and Applications – A Guide for End Users. TAPPI Press, 2017. 175 p.
4. Miller J. Nanocellulose Challenges and Opportunities: End User Perspectives. TAPPI Press, 2018. 75 p.
5. Commission Regulation (EU) No 231/2012 of 9 March 2012 laying down specifications for food additives listed in Annexes II and III to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council. 2012. 275 p.
6. Сунайт В.Н. Получение порошковой целлюлозы из древесной массы: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2019. 134 с.
7. Ardizzone S. Microcrystalline cellulose powders: structure, surface features and water sorption capability // Cellulose. 1999. Vol. 6. N1. Pp. 57–69.
8. Chinga-Carrasco G. Cellulose fibres, nanofibrils and microfibrils: the morphological sequence of MFC components from a plant physiology and fibre technology point of view // Nanoscale Res Lett. 2011. Vol. 6. Pp. 417–428.
9. Сарымсаков А.А., Балтаева М.М., Набиев Д.С., Рашидова С.Ш., Югай С.М. Диспергированная микрокристаллическая целлюлоза и гидрогели на ее основе // Химия растительного сырья. 2004. №2. С. 11–16.
10. Ardizzone S. et al. Microcrystalline cellulose powders: structure, surface features and water sorption capability // Cellulose. 1999. Vol. 6, no. 1. Pp. 57–69. DOI: 10.1023/A:1009204309120.
11. Chinga-Carrasco G. Cellulose fibres, nanofibrils and microfibrils: the morphological sequence of MFC components from a plant physiology and fibre technology point of view // Nanoscale Res Lett. 2011. Vol. 6. Pp. 417–428. DOI: 10.1186/1556-276X-6-417.
12. Сарымсаков А.А., Балтаева М.М., Набиев Д.С., Рашидова С.Ш., Югай С.М. Диспергированная микрокристаллическая целлюлоза и гидрогели на ее основе // Химия растительного сырья. 2004. №2. С. 11–16.
13. Шуркина В.И., Федорова О.Н., Марченко Р.А., Алашкевич Ю.Д. Исследование бумагообразующих свойств волокнистой массы при использовании гарнитуры с криволинейной формой ножей // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы VII Всерос. конф. Барнаул, 2017. С. 353–354.
14. Шуркина В.И., Юртаева Л.В., Марченко Р.А., Федорова О.Н., Алашкевич Ю.Д. Исследование свойств волокнистой массы при использовании гарнитуры с криволинейной формой ножей // Решетневские чтения: материалы XXI междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. Красноярск, 2017. Ч. 2. С. 169–171.
15. Патент 2314381 (РФ). Размалывающая гарнитура для дисковой мельницы / Ю.Д. Алашкевич, В.И. Ковалев, А.А. Набиева. 2006.
16. Патент 2307883 (РФ). Размалывающая гарнитура / Ю.Д. Алашкевич, В.И. Ковалев, В.Ф. Харин, А.П. Мухачев. 2006.
17. Оболенская А.В., Щеголев В.П., Аким Г.Л. и др. Практические работы по химии древесины и целлюлозы. М., 1985. 412 с.
18. Ehman, N.V., Felissia, F.E., Tarrés, Q. et al. Effect of nanofiber addition on the physical–mechanical properties of chemimechanical pulp handsheets for packaging // Cellulose. 2020. Vol. 27. Pp. 10811–10823. DOI: 10.1007/s10570-020-03207-5.
19. Gu, F., Wang, W., Cai, Z. et al. Water retention value for characterizing fibrillation degree of cellulosic fibers at micro and nanometer scales // Cellulose. 2018. Vol. 25. Pp. 2861–2871. DOI: 10.1007/s10570-018-1765-8.
20. Xiang, Z., Liu, Q., Chen, Y. et al. Effects of physical and chemical structures of bacterial cellulose on its enhancement to paper physical properties // Cellulose. 2017. Vol. 24. Pp. 3513–3523. DOI: 10.1007/s10570-017-1361-3.

*Поступила в редакцию 29 июня 2020 г.*

*Принята к публикации 13 ноября 2020 г.*

**Для цитирования:** Алашкевич Ю.Д., Юртаева Л.В., Решетова Н.С., Марченко Р.А. Влияние ножевого способа размала волокнистой массы на процесс получения порошковой целлюлозы // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 493–499. DOI: 10.14258/jcprm.2020048121.

*Alashkevich Yu.D., Yurtaeva L.V., Reshetova N.S., Marchenko R.A.* THE INFLUENCE OF THE KNIFE METHOD OF GRINDING PULP ON THE PROCESS OF OBTAINING POWDERED CELLULOSE

*Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev, pr. Mira, 82, Krasnoyarsk, 660037 (Russia), e-mail: donna\_5@mail.ru*

This article presents the classification of the resulting types of powdered cellulosic materials, their scope, as well as the problems arising during production. The main properties of powder cellulose materials are considered. Analyzed the quality indicators of the pulp, previously ground in a disc mill. The main technological parameters of the experimental setup and the comparative characteristics of the used knife grinding sets are presented. In the course of the experimental research, knife grinding sets with straight and curved knives were used. The data obtained confirmed the previously put forward hypothesis about the predominant fibrillation of cellulose fiber milled using a grinding set with a curved blade shape. This feature of the headset design is especially important when grinding hardwood pulp, which has a lower initial value, compared to softwood pulp. The data obtained in determining the degree of grinding, water retention capacity, fiber length of softwood and hardwood cellulose after knife grinding and the degree of polymerization after hydrolysis are presented. A method for producing powdered cellulose material with characteristics similar to microcrystalline cellulose is considered. The regulated parameters of the hydrolysis process are set and a comparison is made of the degree of polymerization of the considered samples of powdered cellulose.

*Keywords:* powder cellulose, grinding, knife grinding headset, disk mill, acid, hydrolysis, pulp, fiber length, fibrillation, degree of polymerization.

### References

1. *Microcrystalline Cellulose (MCC) Market by Source Type and Application: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast 2018–2025*. Allied Market Research. Portland, 2018, 212 p.
2. *Cellulose Powder Market – Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2018–2025*. Researchstore.biz. US, 2018, 99 p.
3. Miller J. *Nanocellulose: Producers, Products and Applications – A Guide for End Users*, TAPPI Press, 2017, 175 p.
4. Miller J. *Nanocellulose Challenges and Opportunities: End User Perspectives*, TAPPI Press, 2018, 75 p.
5. *Commission Regulation (EU) No 231/2012 of 9 March 2012 laying down specifications for food additives listed in Annexes II and III to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council*, 2012, 275 p.
6. Sunayt V.N. *Polucheniye poroshkovoy tsellyulozy iz drevesnoy massy: dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Receiving powdered cellulose from wood pulp: dis. ... Cand. tech. sciences]. St.-Petersburg, 2019, 134 p. (in Russ.).
7. Ardizzone S. *Cellulose*, 1999, vol. 6, no. 1, pp. 57–69.
8. Chinga-Carrasco G. *Nanoscale Res Lett.*, 2011, vol. 6, pp. 417–428.
9. Sarymsakov A.A., Baltayeva M.M., Nabiyev D.S., Rashidova S.SH., Yugay S.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2004, no. 2, pp. 11–16. (in Russ.).
10. Ardizzone S. et al. *Cellulose*, 1999, vol. 6, no. 1, pp. 57–69. DOI: 10.1023/A:1009204309120.
11. Chinga-Carrasco G. *Nanoscale Res Lett.*, 2011, vol. 6, pp. 417–428. DOI: 10.1186/1556-276X-6-417.
12. Sarymsakov A.A., Baltayeva M.M., Nabiyev D.S., Rashidova S.SH., Yugay S.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2004, no. 2, pp. 11–16. (in Russ.).
13. Shurkina V.I., Fedorova O.N., Marchenko R.A., Alashkevich YU.D. *Novyye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya : materialy VII Vserossiyskoy konferentsii*. [New achievements in chemistry and chemical technology of plant raw materials: materials of the VII All-Russian conference]. Barnaul, 2017, pp. 353–354. (in Russ.).
14. Shurkina V.I., Yurtayeva L.V., Marchenko R.A., Fedorova O.N., Alashkevich Yu.D. *Reshetnevskiy chteniya: materialy XXI mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. pamyati general'nogo konstruktora raketno-kosmicheskikh sistem akademika M.F. Reshetneva*. [Reshetnevskiy readings: materials of the XXI international. scientific-practical conf., dedicated. memory of the general designer of rocket and space systems academician M.F. Reshetnev]. Krasnoyarsk, 2017, vol. 2, pp. 169–171. (in Russ.).
15. Patent 2314381 (RU). 2006. (in Russ.).
16. Patent 2307883 (RU). 2006. (in Russ.).
17. Obolenskaya A.V., Shchegolev V.P., Akim G.L. i dr. *Prakticheskiye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy*. [Practical work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow, 1985, 412 p. (in Russ.).
18. Ehman, N.V., Felissia, F.E., Tarrés, Q. et al. *Cellulose*, 2020, vol. 27, pp. 10811–10823. DOI: 10.1007/s10570-020-03207-5.
19. Gu, F., Wang, W., Cai, Z. et al. *Cellulose*, 2018, vol. 25, pp. 2861–2871. DOI: 10.1007/s10570-018-1765-8.
20. Xiang, Z., Liu, Q., Chen, Y. et al. *Cellulose*, 2017, vol. 24, pp. 3513–3523. DOI: 10.1007/s10570-017-1361-3.

Received June 29, 2020

Accepted November 13, 2020

**For citing:** *Alashkevich Yu.D., Yurtaeva L.V., Reshetova N.S., Marchenko R.A. Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 493–499. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020048121.

