

**Ф.Х. Хакимова, О.А. Носкова, Е.А. Глезман,
В.А. Житнюк, М.Н. Спасенников, К.А. Синяев**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ВАРИАНТ УТИЛИЗАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ОТ ПОДГОТОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛУЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Работа направлена на решение актуальной проблемы – повышение комплексности использования древесного сырья путем утилизации отходов переработки древесины на целлюлозно-бумажных предприятиях. Объект исследования – березовые опилки, образующиеся в процессе подготовки технологической щепы для варки полуцеллюлозы.

Работа выполнена применительно к условиям Пермского ЦБК (ПЦБК). Исследовано получение нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы по непрерывной и периодической технологии. Варки проводили с производственным варочным раствором ($\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{NaOH}$ или NH_4OH). Операции и условия непрерывной технологии соответствовали применяемым в настоящее время на предприятии при получении полуцеллюлозы на установке «Дефибратор».

Показано, что древесные отходы (опилки из березовой древесины) ПЦБК могут служить сырьем для получения нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы как по непрерывной, так и по периодической технологии. Процесс получения полуцеллюлозы трудностей не вызывает. Показатели качества получаемой полуцеллюлозы при оптимальных (по результатам исследований) условиях при выходе 75 % соответствуют показателям полуцеллюлозы ПЦБК из технологической щепы.

В процессе работы испытан и предлагается способ периодической варки нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы по сокращенному режиму без промежуточной стоянки для пропитки опилок.

Получены два образца нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы из березовых опилок ПЦБК, которые испытаны в исследовательской лаборатории предприятия на пригодность использования их в композиции бумаги для гофрирования и картона. Показано, что опытный

Вариант утилизации древесных отходов от подготовки технологической щепы для получения полуцеллюлозы / Ф.Х. Хакимова, О.А. Носкова, Е.А. Глезман, В.А. Житнюк, М.Н. Спасенников, К.А. Синяев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2019. – № 2. – С. 5–21. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.02.01

Khakimova F., Noskova O., Glezman E., Zhitnyuk V., Spasennikov M., Sinyayev K. An Option of Utilization of Waste Wood from the Preparation of Technological Chips for Semi-chemical Pulp Production. PNRPU. Applied Ecology. Urban Development. 2019. No. 2. Pp. 5-21. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.02.01

полуфабрикат из березовых опилок имеет высокие прочностные показатели и с успехом может быть применен в композиции бумаги для гофрирования и картона ПЦБК без снижения их прочностных характеристик.

Ключевые слова: древесные отходы, утилизация, нейтрально-сульфитная варка, полуцеллюлоза, разمول, механические показатели, опытные испытания, композиция массы, бумага для гофрирования, картон.

Россия – одна из ведущих стран по объему заготавливаемой древесины, которая применяется в лесоперерабатывающей, целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности и экспортируется. При существующих способах переработки древесного сырья в целом по России используется около половины биомассы дерева [1].

Объем древесных отходов в стране чрезвычайно велик. Большие потери приходится на опилки и стружки – отходы лесопиления и подготовки древесины в производстве целлюлозы.

В лесопильном производстве количество опилок составляет примерно 10 % от объема распиливаемых круглых лесоматериалов, в подготовке древесины для получения полуфабрикатов бумажного производства – от 5 до 10 % [2].

Одна из главных задач лесной отрасли – сокращение отходов производства древесины и их переработка, уменьшение потерь от несовершенства технологий. Рациональное использование древесного сырья, вторичное использование древесных отходов, переориентация производства на ресурсосберегающий путь развития – все это видится важнейшим направлением развития отрасли, поскольку такие природные ресурсы, как леса, восстанавливаются медленно и с большим трудом [3].

Решению данной задачи отвечает комплексное использование древесного сырья, включающее максимальную утилизацию отходов лесозаготовок и переработки древесного сырья.

Для уменьшения количества отходов необходимо снижать их образование в процессе производства и потребления, внедрять ресурсосберегающие технологии, эффективно проводить рециклинг отходов, осуществлять комплексное управление отходами. Данная система управления нацелена на снижение вредного воздействия отходов на здоровье человека, компоненты окружающей среды, а также сохранение природных ресурсов.

Любые отходы можно рассматривать в качестве вторичных материальных ресурсов, причем главной особенностью таких ресурсов является их постоянная воспроизводимость в процессе материального и промышленного производства [3, 4].

В целлюлозно-бумажной промышленности значительную часть отходов переработки древесины составляют опилки, образующиеся при подготовке древесины для получения полуфабрикатов бумажного производства. Из всех кусковых древесных отходов опилки считаются самыми малоценными, однако они являются технологическим сырьем для целого ряда производств, их широко используют во всем мире в качестве топлива [5, 6]. Исследования в области полезного использования опилок и стружек ведутся не один десяток лет, однако проблема рационального использования древесных отходов сохраняет свою актуальность [5, 7, 8].

Важнейшим моментом ресурсосбережения, способствующим комплексному использованию древесного сырья, является сохранение от вырубок большей части лесных массивов, что позволяет также значительно улучшить ситуацию в экологической составляющей лесной отрасли [8, 9].

Идеальным считается стремление предприятий к безотходному производству, т.е. к возможно полному и рациональному использованию вовлекаемого в переработку древесного сырья, и отсутствию вредного воздействия на окружающую среду. К сожалению, в целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности России такие производства отсутствуют [9, 10].

Уровень потребления странами Запада бумажной продукции постоянно растет, что приводит к увеличению потребности в традиционном древесном сырье. За рубежом в последние десятилетия пристальное внимание уделяется проблеме утилизации древесных отходов и увеличению использования ресурсов биомассы древесины, что естественно и связано с ростом потребности в лесопродукции, а также с дефицитом и высокой стоимостью первичного сырья в виде стволовой древесины [11].

Замена первичного сырья (стволовой древесины) древесными отходами имеет наряду с экономическим и экологическое преимущество, за счет предотвращения ущерба, наносимого окружающей среде при неиспользовании отходов [4, 12].

Одним из основных потребителей древесных отходов в виде стружки и опилок является плитное производство. Опилки используются для производства древесной муки, древесно-композиционных материалов, в гидролизном и лесохимическом производстве, в промышленности строительных материалов [8, 13, 14].

В целом общие тенденции использования древесных отходов в России и за рубежом характеризуются топливно-энергетической направленностью [11]. И в то же время в России значительная часть древесных отходов до сих пор

вывозится на свалки. Наиболее очевидные негативные последствия накопления древесных отходов – это отчуждение территорий под складирование древесных отходов, пожароопасность древесных отходов.

Представляет большой интерес и является весьма перспективным использование опилок в качестве сырья в производстве полуфабрикатов высокого выхода для выработки бумаги и картона. Многие исследователи отмечают высокий потенциал древесных отходов как сырья для производства целлюлозы, древесно-стружечных и древесно-волоконистых масс. Например, получение волокнистого полуфабриката для картона возможно из стружек и опилок методом сброса давления (взрывной волокнистый полуфабрикат) [15].

Перспективно также использование опилок в качестве сырья для производства сульфатной целлюлозы, которую можно использовать при получении картона в смеси с целлюлозой из технологической щепы [9].

Многие исследователи продолжают разработку способов, технологий и режимов получения волокнистых полуфабрикатов из опилок и стружки. Положительные результаты получены в исследованиях по пероксидной варке древесных опилок разных пород [16], по получению целлюлозы из стружки еловой древесины методом катализируемой пероксидной варки в кислой среде с последующей щелочной экстракцией [17], а также из опилок древесины лиственницы делигнификацией смесью уксусной кислоты и пероксида водорода [18]. Следует отметить актуальность разработанной одноступенчатой перуксуснокислорварки хвойных древесных отходов деревообработки (опилок, стружки) [19].

В России есть опыт производства из древесных отходов (опилок) сульфатной целлюлозы для картона. Так, на Усть-Илимском ЛПК действует варочная установка непрерывного действия по варке сульфатной целлюлозы, но для реализации этого варианта необходимо было внедрение в практику лесопиления пил специального профиля, дающих крупные опилки в форме стружки. В этом случае опилки могут стать значительным источником древесного сырья для получения целлюлозы и полуцеллюлозы.

Наиболее освоенными в России являются запасы древесины Европейской части и Урала, и представляет интерес использование потенциала этих районов в плане безотходности. В настоящее время на Урале существуют предприятия, занимающиеся проблемой переработки древесных отходов. К ним можно отнести предприятия Пермского края, вплотную занявшиеся утилизацией древесных отходов с получением полезного продукта – полуфабриката для использования в производстве картона (Пермский ЦБК и ряд деревообрабатывающих комбинатов г. Перми и Пермского края).

Таким образом, актуальность, экономическая и экологическая целесообразность и эффективность утилизации древесных отходов целлюлозных производств не вызывают сомнений. Активное использование вторичных древесных ресурсов не только выступает важнейшим элементом ресурсосбережения, способствующим комплексному использованию древесного сырья и, в конечном счете, сохраняющим от вырубки значительные лесные массивы, но и призвано значительно улучшить экологическую составляющую лесной отрасли.

Цель данной работы состояла в разработке технологии утилизации древесных отходов (березовых опилок), образующихся при подготовке древесины (технологической щепы) для получения полуцеллюлозы.

Задача работы – получение нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы, пригодной для использования в композиции картона.

Подготовка и анализ древесных отходов. Для исследований использованы древесные опилки от получения технологической щепы для варки полуцеллюлозы на Пермском целлюлозно-бумажном комбинате (ПЦБК).

Предприятие представило для исследований два образца опилок – из свежей и зимней древесины.

С целью оценки качества древесных отходов по размерам определили фракционный состав сортированием через сита с круглыми отверстиями диаметром от 1 до 7 мм.

Проведение варок древесных отходов с получением полуцеллюлозы. Исследования проводились применительно к условиям ПЦБК. Для варки нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы (НСПЦ) использован производственный варочный раствор ($\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{NaOH}$ или NH_4OH) состава: всего SO_2 6,7–7,7 %; связанного SO_2 2,9–3,4 %; pH варочного раствора 10,17–10,58.

Нейтрально-сульфитные варки проводили в стационарном автоклаве вместимостью 2 л с электрообогревом без принудительной циркуляции.

Процесс варки полуцеллюлозы по непрерывной технологии включал следующие операции: в автоклаве – пропитка древесных опилок варочным раствором и варка; в центробежном размалывающем аппарате ЦРА – горячий и холодный размол полученной полуцеллюлозы, т.е. в периодически работающем оборудовании воспроизведены все процессы, их последовательность, режим и условия непрерывной варки ПЦБК на установке «Дефибратор»; промывку и сортирование полуцеллюлозы проводили в установке из двух сит: верхнее сито с диаметром отверстий 4 мм, нижнее – сетка № 40.

Процесс варки полуцеллюлозы по периодической технологии включал следующие операции: заливка древесных отходов варочным раствором (с температурой около 40 °С); подъем температуры до 156 °С (пропитка); стоянка (варка) при конечной температуре 156 °С, снижение давления и опорожнение автоклава; роспуск полученной полуцеллюлозы в дезинтеграторе на волокна и пучки волокон, промывка струей водопроводной воды и сортирование, размол в ЦРА. Таким образом, процесс варки проводили по упрощенной схеме (без промежуточной стоянки).

В работе использованы следующие стандартные методы анализа полуцеллюлозы: определение массовой доли влаги – ГОСТ 16932; подготовка образцов полуцеллюлозы к физико-механическим испытаниям – ГОСТ 14363.4; определение показателей механической прочности: сопротивления разрыву – по ГОСТ 1924-1-96, сопротивления продавливанию – по ГОСТ 13525.8; прочности на излом при многократных перегибах – по ГОСТ 13525.2; сопротивления плоскостному сжатию гофрированного образца бумаги – по ГОСТ 20682; сопротивления торцовому сжатию гофрированного образца бумаги – по ГОСТ 28686; разрушающего усилия при сжатии кольца в поперечном направлении – по ГОСТ 10711.

Показатели механической прочности отливок полуцеллюлозы определяли после размола в мельнице ЦРА до 24–33 °ШР. Степень помола массы определяли на аппарате СР-2. Образцы бумаги массой 100 г/м² получали на листоотливном аппарате ЛА-2 с вакуум-сушильной камерой.

Определение обезвоживаемости (скорости водоотдачи) бумажной и картонной массы проводили по методике, изложенной в источнике [20].

Обсуждение результатов. Объект исследования – древесные отходы подготовки технологической щепы для химической переработки на ПЦБК.

Березовые отходы представляют собой опилки – отходы от получения из балансовой березовой древесины технологической щепы для производства нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы.

Для характеристики качества древесных отходов определили их фракционный состав (табл. 1). Как следует из данных табл. 1, образец сырья 1 – довольно равномерного фракционного состава: количество основных фракций 2–4 в нем 95 %; очень мелкой фракции (поддон) в этом образце немного (0,7 %).

Опилки образца 2 из зимнего баланса не столь однородны – основных фракций 2–4 примерно 75 %. Опилки содержат много очень мелкой фракции – более 9 %.

Таблица 1

Фракционный состав использованных для получения полуцеллюлозы древесных отходов (опилок) – сортирование через сита с круглыми отверстиями

Номер фракции	Остаток на сите с диаметром отверстий, мм	Значения для древесных отходов	
		Образец 1 – березовые опилки из свежей древесины	Образец 2 – березовые опилки из зимнего баланса
1	7	0,4	0,3
2	5	13,5	7,6
3	3	51,1	34,7
4	2	29,6	32,5
5	1	4,7	15,7
6	Поддон	0,7	9,2

Древесные отходы были поставлены при влажности, при которой получается щепа для варки полуцеллюлозы на предприятии. Для использования в течение нескольких месяцев с целью предотвращения образования плесени и биологического разрушения древесины проводили подсушку опилок на воздухе до влажности 16–19 %.

Исследования по получению нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы из березовых опилок Пермского ЦБК проводили в двух направлениях – по непрерывной и периодической технологии. Операции непрерывной технологии соответствовали применяемым в настоящее время на предприятии при получении нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы на установке «Дефибратор».

Условия стадий варки березовых опилок по непрерывной технологии и полученные результаты приведены в табл. 2. Как следует из данных табл. 2, конечная температура варки в этой серии опытов (и в дальнейших исследованиях) составила 156 °С, т.е. это несколько ниже применяемой при непрерывной варке на предприятии. Объясняется это возможностями лабораторного автоклава – его предельная температура 156 °С.

По данным табл. 2 видно, что полученная полуцеллюлоза размалывается легко – в ЦРА 5,0–5,5 мин, что примерно в 4 раза меньше, чем для сульфитной и сульфатной целлюлозы (из опыта наших исследований). Выход полуцеллюлозы 65–68 %, т.е. ниже, чем нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы из щепы, так как полуцеллюлоза получена из очень мелкого сырья.

По механическим показателям все полученные образцы полуцеллюлозы удовлетворяют нормам ПЦБК для полуцеллюлозы из щепы.

Таблица 2

Результаты варки березовых опилок из свежей древесины (образец 1)
по технологии непрерывной варки

Условия варки и показатели полуцеллюлозы	Номер образца					Нормы по регла- менту ПЦБК для полуцеллюлозы из щепы
	1 (режим 1)	2 (режим 2)		3 (режим 3)		
Условия варки: пропитка: – подъем температуры до 100 °С, мин	60	50		40		
– стоянка при температуре 100 °С, мин	30	20		15		15–20 (пропарка), 10 (пропитка)
Собственно варка: – подъем температуры до 156 °С, мин	50	76		60		
– стоянка при температуре 156 °С, мин	40	30		20		32–40 (при темпе- ратуре 168–175 °С)
– гидромодуль	7	7		5,5		
Продолжительность горя- чего размола, мин	20	20		20		
Степень помола после го- рячего размола, °ШР	13	13		14		
Продолжительность хо- лодного размола, мин	10	3	5	5	5,5	
Показатели полуцеллюлозы: – выход полуцеллюлозы об- щей (непровара мало), % от абсолютно сухой древесины	62,4	64,6	64,6	67,9	67,9	Не менее 70
– степень помола, °ШР	48	23	29	24	29	24–33
– разрывная длина (100 г/м ²), м	9180	6810	7630	7400	8100	Не менее 5000

Примечание: в таблице приведены результаты (средние) двух параллельных варок.

При получении полуцеллюлозы по непрерывному способу режим 3 дает высокие результаты и по выходу, и по механическим показателям при соблюдении требований к степени помола. Этот режим может быть принят как оптимальный.

В настоящее время на ПЦБК нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза получается в установках непрерывного действия высокой производительности (по 130 т/сут каждая). Представляет интерес возможность и целесо-образность получения нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы из древес-ных отходов предприятия по периодическому способу, позволяющему изменять производительность потока в широких пределах.

Изучены режимы пропитки и варки опилок, холодного размола полученной полуцеллюлозы. Условия варок и результаты данной серии опытов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты варки березовых опилок (из свежей и зимней древесины)
ПЦБК по графику периодической варки

Условия варки и показатели полуцеллюлозы	Полуцеллюлоза из опилок					Нормы по регламенту ПЦБК для полуцеллю- лозы из щепы
	Из опилок свежей древесины (образец 1)				Из опилок зимней древеси- ны (обра- зец 2)	
Номер образца полуцеллюлозы	4	5	6	7	8	
Условия варки:						
– подъем температуры от 40 до 156 °С (пропитка), мин	*	85	85	85	80	Варка непрерыв- ная
– стоянка при температуре 156 °С (варка), мин	80	30	30	30	30	
– общая продолжительность процессов пропитки и варки, мин	205	115	115	115	110	
– гидромодуль	7	6	6	6	6	
Продолжительность холодного размола, мин	10	10	5,0	5,5	7,0	
Показатели полуцеллюлозы:						Не менее 70
– выход полуцеллюлозы (общий), %	62,5	75,0	75,5	75,2	72,5	
– степень помола, °ШР	28	56	24	27	29	24–33
– разрывная длина (100 г/м ²), м	5820	8590	8040	8090	7430	Не менее 5000

Примечание. * Образец 4 получен по режиму бисульфитной варки: пропитка при температуре 125 °С, варка при температуре 156 °С.

Образец 4 получен по режиму периодической бисульфитной варки с пропиткой при температуре 125 °С. Образцы 5–8 получены по сокращенному режиму при предлагаемых нами условиях: подъем температуры до конечной 156 °С (пропитка), стоянка (варка) при температуре 156 °С.

Полученные результаты варок приведены в табл. 3.

Образец 4, полученный по режиму бисульфитной варки с предварительной пропиткой (стоянкой при температуре 125 °С), имеет низкие показатели выхода и разрывной длины (общая продолжительность процессов пропитки и варки максимальная). Таким образом, получение полуцеллюлозы из опилок по графику обычной бисульфитной варки дало неудовлетворительные результаты.

Варка по принятому нами сокращенному режиму дала весьма положительные результаты. Образцы полуцеллюлозы 5–7 из свежих опилок получены с высокими показателями выхода и разрывной длины. Показатели полуцеллюлозы образца 8 из опилок зимнего баланса несколько ниже. Однако показатель разрывной длины всех образцов полуцеллюлозы из опилок, полученных по сокращенному режиму варки, заметно превышает этот показатель полуцеллюлозы ПЦБК из технологической щепы.

Все образцы полуцеллюлозы размалываются легко (продолжительность размола до 24–29 °ШР составила 5–7 мин).

Таким образом, по результатам периодических варок березовых опилок ПЦБК режимы варок образцов 5–8 являются весьма эффективными.

Эффективность такой технологии с кратковременной варкой (30 мин) объясняется локализацией лигнина лиственной древесины в клеточной стенке – лигнин лиственной древесины практически полностью сосредоточен в срединной пластинке. Поэтому такой кратковременной варки достаточно для получения при дальнейшем размоле щепы полуцеллюлозы хорошего качества.

Для завершения работы необходимо было получить опытные образцы полуцеллюлозы из древесных отходов и проверить в опытных условиях целесообразность использования их в композиции картона. С целью ориентировочной оценки пригодности полученных образцов полуцеллюлозы для введения в композицию картона для двух образцов полуцеллюлозы (выборочно) определен более широкий набор показателей механической прочности (табл. 4).

Таблица 4

Показатели механической прочности некоторых образцов нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы (выборочно), полученных по предлагаемой периодической технологии

Показатели полуцеллюлозы	Полуцеллюлоза из опилок			Нормы по регламенту ПЦБК для полуцеллюлозы из щепы
	Образец из свежей древесины (образец опилок 1)	Образец из зимней древесины (образец опилок 2)	Образец из свежей древесины (образец опилок 1)	
Номер образца полуцеллюлозы	6	7	8	
Степень помола, °ШР	24	27	29	24–33
Механические показатели полуцеллюлозы: – разрывная длина (100 г/м ²)	6630	7300	6060	Не менее 5000
– сопротивление продавливанию, кПа	288	323	283	Не менее 280
– сопротивление плоскостному сжатию, Н	222	187	260	Не менее 310
– сопротивление торцовому сжатию, кН/м	1,58	1,78	1,66	0,70–1,55 для марки Б-1

Из данных табл. 4 следует, что из березовых опилок ПЦБК получается полуцеллюлоза, которая по всем показателям, кроме сопротивления плоскостному сжатию, соответствует качеству полуцеллюлозы предприятия из щепы.

Исходя из изложенного, на данном этапе работы мы получили для опытных испытаний 2 образца полуцеллюлозы из березовых опилок ПЦБК – из свежей древесины и из зимней древесины. Каждый образец полуцеллюлозы являлся усредненной массой из пяти параллельных варок.

Опытные испытания полуцеллюлозы из березовых опилок ПЦБК.

В табл. 5 приведены механические показатели образцов полуцеллюлозы из опилок, представленных для опытных испытаний (показатели полуцеллюлозы определены в исследовательской лаборатории ПЦБК). Из данных табл. 5 следует, что оба образца полуцеллюлозы, полученные из опилок, по всем показателям качества соответствуют нормам по регламенту ПЦБК для полуцеллюлозы из технологической щепы.

Таблица 5

Механические показатели опытных образцов полуцеллюлозы из древесных (березовых) опилок ПЦБК

Показатель	Образец из свежей древесины (образец опилок 1)	Образец из зимнего баланса (образец опилок 2)	Нормы по регламенту ПЦБК для полуцеллюлозы из щепы
Степень помола, °ШР	32	32	24–33
Сопротивление продавливанию, кПа	484	433	Не менее 280
Разрывная длина, м	6310	6320	Не менее 5000
Удельное сопротивление разрыву, кН/м	8,47	8,36	Не менее 8,0
Сопротивление плоскостному сжатию, Н	362	380	Не менее 310
Сопротивление торцовому сжатию, кН/м	2,82	2,80	0,70–1,55 для марки Б-1
Разрушающее усилие при сжатии кольца, Н	387	353	–

Опытные испытания проведены в исследовательской лаборатории ПЦБК с использованием в композиции бумаги и картона, кроме полуцеллюлозы из опилок, полуфабрикатов из производственного потока ПЦБК.

Для проведения испытаний из технологического потока производства бумаги для гофрирования отбирали следующие полуфабрикаты: нейтрально-сульфитную полуцеллюлозу – ПЦ (в настоящее время целлюлоза высокого выхода – ЦВВ) и макулатурную массу (ММ) из макулатуры марки МС-5Б.

Цель данной работы состояла в определении возможности использования полуфабриката (полуцеллюлозы) из опилок в композиции бумаги и картона.

Образцы бумаги и картона для испытаний изготавливали на листоотливном аппарате. Предварительно полуфабрикат из опилок размалывали до 32 °ШР. Производственные полуфабрикаты отбирали из композиционного бумагоделательной машины (БДМ) в два этапа в разное время, т.е. получали по два варианта бумаги и картона, и в композицию каждого варианта бумаги и картона входила полуцеллюлоза из опилок. Во всех случаях эта полуцеллюлоза использована для замены макулатурной массы в композиции бумаги и картона.

Механические показатели отливок бумаги приведены в табл. 6, а отливок картона – в табл. 7. В обоих случаях в первом варианте отливок применена полуцеллюлоза из древесных опилок образца 1, во втором варианте – полуцеллюлоза из опилок образца 2 (см. табл. 5).

Таблица 6

Механические показатели отливок бумаги из бумажной массы

Номер варианта-образца	Композиция	Степень помола массы, °ШР	Механические показатели (130 г/м ²)					Обезвоживаемость (скорость водоотдачи) бумажной массы, с		
			Разрывная длина, м	Удельное сопротивление разрыву, кН/м	Сопротивление			300 мл	500 мл	700 мл
					Продавливанню, кПа	Плоскостному сжатию, Н	Торцовому сжатию, кН/м			
ГОСТ 53206 (125 г/м ²), не менее			–	8,0	320	310	1,35	–	–	–
1-1	ЦВВ – 80 %, ММ – 20 %	30	5310	7,2	489	319	2,71	3,7	14,8	36,4
1-2	ЦВВ – 80 %, ПЦ из опилок образца 1 – 20 %	32	5670	8,0	487	368	2,79	4,6	15,8	38,3
2-1	ЦВВ – 80 %, ММ – 20 %	29	5634	7,7	459	344	2,54	2,5	11,9	32,6
2-2	ЦВВ – 80 %, ПЦ из опилок образца 2 – 20 %	29	6330	8,4	448	380	2,8	3,1	13,7	35,0

Таблица 7

Механические показатели отливок картона из картонной массы

Номер варианта-образца	Композиция	Степень помола массы, °ШР	Механические показатели (130 г/м ²)			Обезвоживаемость (скорость водоотдачи) картонной массы, с		
			Сопротивление продавливанию, кПа	Прочность на излом, ч.д.п.	Разрушающее усилие при сжатии кольца, Н	300 мл	500 мл	700 мл
ТУ 5441-073-24086615–2014 (135 г/м ²), не менее			460	10	150	–	–	–
1-1	ММ – 100 %	27	303	53	259	3,0	11,4	28,3
1-2	ММ – 90 %, ПЦ из опилок образца 1 – 10 %	30	356	51	252	3,8	13,4	31,0
1-3	ММ – 80 %, ПЦ из опилок образца 1 – 20 %	30	363	44	256	3,5	13,9	32,3
2-1	ММ – 100 %	30	350	62	242	2,7	13,3	33,3
2-2	ММ – 90 %, ПЦ из опилок образца 2 – 10 %	31	355	60	268	3,4	14,6	34,9
2-3	ММ – 80 %, ПЦ из опилок образца 2 – 20 %	32	344	41	255	3,7	16,9	39,7

По результатам испытаний полуцеллюлозы отмечается, что по показателям качества отливок бумаги, полученных с применением в композиции полуцеллюлозы из опилок, в обоих вариантах опытов замена макулатурной массы полуцеллюлозой из березовых опилок способствует увеличению показателя «удельное сопротивление разрыву» и «сопротивление плоскостному сжатию» на 9–15 % без снижения других прочностных характеристик; остальные показатели качества оставались на прежнем уровне. Показатель обезвоживаемости (скорости водоотдачи на сетке) изменялся незначительно.

Результаты испытаний полуцеллюлозы из опилок с применением в композиции картона аналогичные (отмечается увеличение показателя «абсолютное сопротивление продавливанию»).

Выводы по испытаниям образцов полуцеллюлозы из березовых опилок:

– опытный полуфабрикат из березовых опилок ПЦБК имеет высокие исходные прочностные показатели за исключением показателя «прочность на излом при многократных перегибах»;

– показана возможность использования полуфабриката из опилок в композиции картона (КПС) и бумаги для гофрирования без снижения прочностных характеристик.

Заключение. Сделаем следующие выводы. Древесные отходы (опилки из березовой древесины) ПЦБК могут служить сырьем для получения нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы как по непрерывной, так и по периодической технологии. Процесс получения полуцеллюлозы трудностей не вызывает.

Показатели качества получаемой полуцеллюлозы при оптимальных (по результатам исследований) условиях при выходе 75 % соответствуют показателям полуцеллюлозы ПЦБК из технологической щепы.

В процессе работы испытан и предлагается способ периодической варки нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы по сокращенному режиму без промежуточной стоянки для пропитки опилок.

Получены два образца нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы из березовых опилок ПЦБК, которые испытаны в исследовательской лаборатории предприятия на пригодность к использованию их в композиции бумаги для гофрирования и картона (КПС).

Показано, что опытный полуфабрикат из березовых опилок имеет высокие прочностные показатели и с успехом может быть применен в композиции бумаги для гофрирования и картона ПЦБК без снижения их прочностных характеристик.

Библиографический список

1. Беловежец Л.А., Волчатова И.В., Медведева С.А. Перспективные способы переработки вторичного лигноцеллюлозного сырья // Химия растительного сырья. – 2010. – № 2. – С. 5–16.
2. Андреев А.А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. – 2014. – № 10. – С. 148–155.
3. Комплексное устойчивое управление отходами. Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность: учеб. пособие / Н.И. Альберг [и др.]; под ред. Н.И. Альберг. – М.: Издательский дом Академии естествознания, 2016. – 308 с.
4. Комплексная химическая переработка древесины / И.Н. Ковернинский, В.И. Комаров [и др.]. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003. – 344 с.
5. Журавлева Л.Н., Девятловская А.Н. Основные направления использования древесных отходов // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2007. – № 18. – С. 96–99.
6. Гелес И.С. Древесное сырье – стратегическая основа и резерв цивилизации. – Петрозаводск, 2007. – 500 с.
7. Пен Р.З., Рязанова Т.В. Комплексная химическая переработка древесины. – Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2012. – 158 с.
8. Современные направления переработки лесных ресурсов / Р.Г. Сафин, З.Г. Саттарова [и др.] // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 21. – С. 90–93.

9. Васильева Т.В. Некоторые аспекты использования древесных отходов // Лесной вестник. – 2002. – № 4. – С. 68–71.
10. Рациональное природопользование в условиях устойчивого развития экономики промышленных предприятий лесного комплекса / Ю.А. Безруких, С.О. Медведев, Ю.Д. Алашкевич, А.П. Мохирев // Экономика и предпринимательство. – 2014. – № 12-2. – С. 994–996.
11. Васильева Т.В. Обзор сложившихся тенденций использования древесных отходов за рубежом // Лесной вестник. – 2002. – № 4. – С. 71–73.
12. Гелес И.С., Коржицкая З.А. Биомасса дерева и ее использование. – Петрозаводск, 1992. – 230 с.
13. Никишов В.Д. Комплексное использование древесины: учебник для вузов. – М.: Лесная промышленность, 1985. – 264 с.
14. Иванов И.С. Развитие инновационных экотехнологий, базирующихся на использовании древесных отходов // Экономика и управление. – 2009. – № 12. – С. 64–69.
15. Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Зиятдинов Р.Р. Современное состояние техники и технологии производства древесной массы сбросом давления // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 7. – С. 53–57.
16. Низкотемпературная окислительная делигнификация древесины. 9. Пероксидная варка разных пород / Р.З. Пен, А.В. Бывшев, И.Л. Шапиро, И.В. Мирошниченко, В.Е. Тарабанько // Химия растительного сырья. – 2001. – № 3. – С. 11–15.
17. Низкотемпературная окислительная делигнификация древесины. 8. Пероксидная варка и щелочная экстракция / Р.З. Пен, А.В. Бывшев, И.Л. Шапиро, И.В. Мирошниченко, В.Е. Тарабанько // Химия растительного сырья. – 2001. – № 3. – С. 5–10.
18. Окислительная делигнификация древесины лиственницы в среде уксусная кислота – пероксид водорода – вода в присутствии катализатора H_2MoO_4 / С.А. Кузнецова, О.В. Яценкова, В.Г. Данилов, Б.Н. Кузнецов // Химия растительного сырья. – 2005. – № 4. – С. 35–39.
19. Полюттов А.А., Пен Р.З., Бывшев А.В. Технология целлюлозы. Экологически чистое производство: монография. – Красноярск: Красноярский писатель, 2012. – 294 с.
20. Шабиев Р.О., Смолин А.С., Парамонова Л.Л. Изготовление и испытание лабораторных образцов бумаги и картона из вторичного сырья: учеб.-метод. пособие. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. гос. технолог. ун-та растит. полимеров, 2013. – 66 с.

References

1. Belovezhec L.A., Volchatova I.V., Medvedeva S.A. Perspektivnye sposoby pererabotki vtorichnogo lignocelljuloznogo syr'ja [Promising ways of processing recycled lignocellulosic raw materials]. *Khimija Rastitel'no go Syr'ja*. 2010, no. 2, pp. 5-16.
2. Andreev A.A. Resursoberezenie i ispol'zovanie othodov zagotovki i pererabotki drevesnogo syr'ja [Resource conservation and use of waste wood harvesting and processing of raw wood]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovanija: problemy i rezul'taty*. 2014, no. 10, pp. 148-155.
3. Kompleksnoe ustojchivoe upravlenie othodami. Derevoobrabatyvajushhaja i celljulozno-bumazhnaja promyshlennost': ucheb. posobie red. N.I. Al'berg. [Resource conservation and use of waste wood harvesting and processing of raw wood]. Moscow. Izdatel'skij dom Akademii Estestvoznaniya, 2016, 308 p.
4. Koverninskij I.N., Komarov V.I. i dr. Kompleksnaja himicheskaja pererabotka drevesiny [Complex chemical processing of wood]. Arhangel'sk, AGTU, 2003, 344 p.
5. Zhuravljova L.N., Devjatlovskaja A.N. Osnovnye napravlenija ispol'zovanija drevesnyh othodov [The main uses of wood waste]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2007, no. 18, pp. 96-99.
6. Geles I.S. Drevesnoe syr'e – strategicheskaja osnova i rezerv civilizacii [Wood raw materials – a strategic basis and a reserve of civilization]. Petrozavodsk, 2007, 500 p.
7. Pen R.Z., Rjazanova T.V. Kompleksnaja himicheskaja pererabotka drevesiny [Complex chemical processing of wood]. Krasnojarsk: SibGTU, 2012, 158 p.
8. Safin R.G., Sattarova Z.G. i dr. Sovremennye napravlenija pererabotki lesnyh resursov [Modern areas of processing of forest resources]. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*. 2015, vol. 18, no. 21, pp. 90-93.
9. Vasil'eva T.V. Nekotorye aspekty ispol'zovanija drevesnyh othodov [Some aspects of the use of wood waste]. *Lesnoj vestnik*. 2002, no. 4, pp. 68-71.
10. Bezrukih Ju.A., Medvedev S.O., Alashkevich Ju.D., Mohirev A.P. Racional'noe prirodopol'zovanie v uslovijah ustojchivogo razvitija jekonomiki promyshlennyh predpriyatij lesnogo

kompleksa [Rational environmental management in the conditions of sustainable economic development of industrial enterprises of the forest complex]. *Jekonomika i predprinimatel'stvo*. 2014, no. 12-2, pp. 994-996.

11. Vasil'eva T.V. Obzor slozhivshihsja tendencij ispol'zovanija drevesnyh othodov za rubezhom [Review of current trends in the use of wood waste abroad]. *Lesnoj vestnik*. 2002, no. 4, pp. 71-73.

12. Geles I.S., Korzhickaja Z.A. Biomassa dereva i ee ispol'zovanie [Biomass trees and its use]. Petrozavodsk, 1992, 230 p.

13. Nikishov V.D. Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny: Uchebnik dlja vuzov [Complex use of wood]. Moscow. Forest industry, 1985, 264 p.

14. Ivanov I.S. Razvitie innovacionnyh jekotehnologij, bazirujushhihsja na ispol'zovanii drevesnyh othodov [The development of innovative eco-technologies based on the use of wood waste]. *Jekonomika i upravlenie*. 2009, no. 12, pp. 64-69.

15. Ziatdinova D.F., Safin R.G., Ziatdinov R.R. Sovremennoe sostojanie tehniki i tehnologii proizvodstva drevesnoj massy sbrosom davlenija [State-of-the-art technology and technology for the production of pulp by pressure release]. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2011, no. 7, pp. 53-57.

16. Pen R.Z., Byvshev A.V., Shapiro I.L., Miroshnichenko I.V., Taraban'ko V.E. Nizkotemperaturnaja oksitel'naja delignifikacija drevesiny. Peroksidnaja varka raznyh porod [Low temperature oxidative delignification of wood. Peroxide cooking of different breeds]. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2001, no. 3, pp. 11-15.

17. Pen R.Z., Byvshev A.V., Shapiro I.L., Miroshnichenko I.V., Taraban'ko V.E. Nizkotemperaturnaja oksitel'naja delignifikacija drevesiny. Peroksidnaja varka i shhelochnaja jekstrakcija [Low temperature oxidative delignification of wood. Peroxide cooking and alkaline extraction]. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2001, no. 3, pp. 5-10.

18. Kuznecova S.A., Jacenkova O.V., Danilov V.G., Kuznecov B.N. Okisitel'naja delignifikacija drevesiny listvennicy v srede uksusnaja kislota – peroksid vodoroda – voda v prisutstvii katalizatora N_2MoO_4 [Oxidative delignification of larch wood in the environment acetic acid – hydrogen peroxide – water in the presence of a catalyst N_2MoO_4]. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2005, no. 4, pp. 35-39.

19. Poljutov A.A., Pen R.Z., Byvshev A.V. Tehnologija celljulozy. Jekologicheski chistoe proizvodstvo [Pulp technology. Environmentally friendly production]. Krasnojarsk, Krasnojarskij pisatel', 2012, 294 p.

20. Shabiev R.O., Smolin A.S., Paramonova L.L. Izgotovlenie i ispytanie laboratornyh obrazcov bumagi i kartona iz vtorignogo syr'ja: ucheb.-metod. posobie [Production and testing of laboratory samples of recycled paper and paperboard]. Sankt Petersburg, 2013, 66 p.

Получено 17.12.2018

**F. Khakimova, O. Noskova, E. Glezman,
V. Zhitnyuk, M. Spasennikov, K. Sinyayev**

AN OPTION OF UTILIZATION OF WASTE WOOD FROM THE PREPARATION OF TECHNOLOGICAL CHIPS FOR SEMI-CHEMICAL PULP PRODUCTION

The work is aimed at solving the urgent problem of increasing the complexity of the use of wood raw materials by recycling waste wood on pulp and paper mills. The object of the study is birch sawdust generated in the preparation process of technological chips for semi-chemical pulp cooking.

The work is performed in the conditions of the Perm Pulp and Paper Mill (PPPM). Production of neutral sulfite semi-chemical pulp using continuous and periodic technology was researched. Cooking was done with industrial cooking solution ($Na_2SO_3 + NaOH (NH_4OH)$). Operations and conditions of continuous technology were the same as those in the process currently applied at PPPM during the production of semi-chemical pulp on the Defibrator plant.

It is shown that waste wood (sawdust of birch wood) of PPPM can serve as a raw material for the production of neutral sulfite semi-chemical pulp for both continuous and periodic technology. The

process of semi-chemical pulp production does not cause difficulties. The quality of semi-chemical obtained pulp under optimal conditions (according to the research) with the product yield of 75% corresponds to the quality of semi-chemical pulp of PPPM produced from process chips.

During the research a method for the periodic cooking of neutral sulfite semi-chemical pulp under reduced mode without stage of sawdust impregnation was tested.

Two samples of neutral sulfite semi-chemical pulp from PPPM birch sawdust were produced. They were tested in the research laboratory of the mill for the applicability in the composition of fluting and cardboard. It is shown that the experimental semi-finished product from birch sawdust has high strength and can be successfully used in the composition of fluting and cardboard in PPPM without reducing strength characteristics.

Keywords: waste wood, utilization, neutral sulfite cooking, semi-chemical pulp, refine, mechanical strength, pilot tests, pulp composition, fluting, cardboard.

Хакимова Фирдавес Харисовна (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы, профессор кафедры технологии полимерных материалов и порохов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: tcbp@pstu.ru).

Носкова Ольга Алексеевна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: oa-noskova@mail.ru).

Глезман Евгений Андреевич (Пермь, Россия) – канд. экон. наук, исполнительный директор ООО «Прикамский картон» (614031, Пермь, ул. Бумажников, 1, e-mail: pcbk@pcbk.ru).

Житнюк Виталий Анатольевич (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, главный технолог ООО «Прикамский картон» (614031, Пермь, ул. Бумажников, 1, e-mail: Vitaly.Zhitnyuk@pcbk.ru).

Спасенников Михаил Николаевич (Пермь, Россия) – заместитель исполнительного директора ООО «Прикамский картон» (614031, Пермь, ул. Бумажников, 1, e-mail: pcbk@pcbk.ru).

Синяев Константин Андреевич (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: sinyaev83@mail.ru).

Hakimova Firdaves (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Honourable worker of the Higher school, Professor of Department of Technology of Polymeric Materials and Gunpowder, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: tcbp@pstu.ru).

Noskova Olga (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: oa-noskova@mail.ru).

Glezman Eugene (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Economic Sciences, Executive director, "Prikamsky karton", LLC (614031, Perm, Bumazhnikov st., 1, e-mail: pcbk@pcbk.ru).

Zhitnyuk Vitali (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Chief Technologist, "Prikamsky karton", LLC (614031, Perm, Bumazhnikov st., 1, e-mail: pcbk@pcbk.ru).

Spasennikov Michael (Perm, Russian Federation) – Deputy Executive Director, "Prikamsky karton", LLC (614031, Perm, Bumazhnikov st., 1, e-mail: pcbk@pcbk.ru).

Sinyaev Konstantin (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: sinyaev83@mail.ru).