

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 676.022.4 : 676.222(043.3)

**Письменский
Павел Игоревич**

**ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ МАССА ДЛЯ ГАЗЕТНОЙ
БУМАГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КОМПОЗИЦИИ
ДРЕВЕСИНЫ ОСИНЫ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.21.03 – технология и оборудование
химической переработки биомассы дерева; химия древесины

Минск 2014

Работа выполнена в учреждении образования
«Белорусский государственный технологический университет»

Научный руководитель **Соловьёва Тамара Владимировна**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической переработки древесины учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты: **Корочкин Леон Сергеевич**, доктор технических наук, заместитель директора по качеству продукции, начальник отдела технического контроля ЗАО «Голографическая индустрия»

Карпунин Иван Иванович
доктор технических наук, профессор кафедры организации упаковочного производства учреждения образования «Белорусский национальный технический университет»


Оппонирующая организация Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится 20 июня 2014 г. в 15³⁰ на заседании Совета по защите диссертаций Д 02.08.04 при учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова 13а, ауд. 240, к. 4.
Тел.: (017)-327-63-54, факс: (017)-327-62-17,
e-mail: root@bstu.unibel.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Автореферат разослан « 20 » мая 2014 г.

Ученый секретарь
Совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент

 Толкач О.Я.

ВВЕДЕНИЕ

Газетная бумага является самым массовым видом бумажной продукции. В настоящее время мировые объемы ее производства составляют более 70% от всех видов бумаги для печати. Технология развивается по двум основным направлениям – снижение массы m^2 бумаги до 40 – 42 г и повышение качества до уровня требований к многоцветной печати. При этом сырьем для получения газетной бумаги является термомеханическая масса (ТММ) – наиболее эффективный волокнистый полуфабрикат, вырабатываемый, как правило, из древесины ели, которая позволяет выпускать бумагу высокого качества. Однако широкое использование древесины ели в этом качестве привело к возникновению дефицита елового древесного сырья, которое становится все более дорогостоящим.

Решением этой проблемы может стать использование в качестве сырья древесины лиственных пород, в первую очередь осины, которая в больших объемах произрастает в западноевропейской части континента и является сравнительно мало востребованной и недорогой. Кроме того, древесина осины имеет светлую окраску, однородную структуру, невысокие показатели плотности и твердости, высокую влаго- и паропроницаемость. Все это делает ее весьма привлекательной для использования в качестве сырьевого ресурса при получении ТММ. Однако, в связи с отличиями в анатомическом строении от древесины ели (меньшие размеры волокон) и в химическом составе (меньшее содержание основного компонента – целлюлозы) использование осиновой древесины в композиции ТММ для газетной бумаги не получило промышленного применения.

Это направление представляет особый интерес для Республики Беларусь, так как на предприятии РУП «Завод газетной бумаги» (г. Шклов), где ежегодно потребляется порядка 400 тыс. пл. m^3 древесины ели. В тоже время, на этом предприятии функционирует особый способ размола древесной щепы – RTS, который отличается повышенной частотой вращения диска мельницы (рафинара) – 2000–3000 $мин^{-1}$ (традиционная – 1000 – 1200 $мин^{-1}$), позволяющий получать качественную газетную бумагу из древесины ели со сравнительно малой массой m^2 – 45±1,5 г. Этот способ был разработан применительно к получению ТММ для газетной бумаги именно из древесины ели. Информации же о влиянии высокочастотного размола древесины осины на показатели качества ТММ и газетной бумаги в доступной нам литературе не найдено. Все это и предопределило направление и содержание настоящих исследований.

В результате изучения влияния основных технологических факторов процесса получения ТММ – частоты вращения диска мельницы, температуры пропаривания щепы и содержания древесины осины в композиции с

1834 ар

БІБЛІЯТЭКА

Беларускага дзяржаўнага
тэхналагічнага ўніверсітэта

елью на свойства этого полуфабриката и получаемой из него газетной бумаги, установлена целесообразность его изготовления в условиях RTS-размола из смешанной композиции с соотношением 70–80% древесины ели и 30–20% древесины осины. Высокочастотный размол ускоряет процесс расщепления древесины в продольном направлении и повышает ее бумагообразующие свойства. При этом для древесины осины эти процессы идут с большей интенсивностью, чем для ели.

Использование дополнительной химической обработки этой композиции реагентом, образующим в водной среде бисульфит ионы при получении ТММ позволяет вырабатывать тонкую газетную бумагу с высокими физико-механическими показателями, структурными и печатными свойствами. Результаты диссертационных исследований прошли опытно-промышленные испытания на РУП «Завод газетной бумаги» и приняты к внедрению с ожидаемым годовым экономическим эффектом 4600 млн. руб. применительно к годовому выпуску газетной бумаги марки «О» в объеме 40000 т.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами. Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2011 – 2015 гг. по п. 2.9 – «модифицированные химические продукты для нужд различных отраслей народного хозяйства» Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 г. № 585; соответствует научному направлению кафедры химической переработки древесины учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет». Диссертация выполнялась в рамках следующих программ и тем:

– Государственной научно-технической программы «Разработка и внедрение в производство новых методов, средств и технологий воспроизводства, охраны и защиты леса, устойчивого лесопользования и многоцелевого лесопользования, обеспечивающих повышение продуктивности и устойчивости лесов, усиление их ресурсной, социально-экономической и средообразующей роли, рациональное многоцелевое использование лесосырьевых ресурсов, повышение эффективности работы лесного комплекса республики» – ГНТП «Леса Беларуси – продуктивность, устойчивость, эффективное использование», утвержденной приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь № 142 от 13.05.2011 г. на основании постановления Совета Министров Республики Беларусь «Об утверждении перечней научно-технических программ на 2011-2015 годы и на период до 2020 года» от 01.02.2011 г. № 116, задание 5.8 «Разработать и

внедрить технологию получения термомеханической массы из древесины осины» (БС 11-215, № гос. регистрации 20120232, 17.05.2001 – 31.12.2014);

– Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы, утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 26.05.2011 г. № 669, задание 3.5 «Разработать и внедрить технологию получения термомеханической массы из древесины осины».

– Гранта Министерства образования Республики Беларусь «Разработать ресурсосберегающую технологию получения термомеханической массы из древесины осины» (ГБ 11-026, № гос. регистрации 20111300, 3.01.2011–31.12.2011 гг.).

Цель и задачи исследования.

Цель работы – научное обоснование и разработка технологий, позволяющих эффективно использовать древесину осины (*Populus tremulae L.*) в композиции ТММ, получаемой высокочастотным размолотом древесной щепы при производстве газетной бумаги.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

– провести сравнительное исследование по установлению влияния технологических факторов процесса получения ТММ из традиционно используемой древесины ели, древесины осины и их композиций на свойства этого волокнистого полуфабриката:

- а) температуры пропаривания щепы перед размолотом;
- б) частоты вращения диска мельницы на 1-й ступени размолота;
- в) содержания древесины осины в композиции с елью;

– провести сравнительное исследование по установлению влияния технологических факторов процесса получения ТММ из древесины ели, осины и их композиций на свойства газетной бумаги;

– исследовать влияние химической обработки древесины ели, осины и их композиций в процессе получения ТММ на ее свойства и показатели качества получаемой газетной бумаги;

– провести опытно-промышленные испытания разработанных технологических рекомендаций, направленных на замену древесины ели на древесину осины в условиях высокочастотного размолота щепы в производстве газетной бумаги.

Объектом исследования является технологический процесс получения ТММ с варьированием интенсивности размолота щепы из ели, осины и их композиций из исходной и химически обработанной древесины. Предмет исследования – ТММ из древесины ели, осины и их композиций, изготовленная из нее газетная бумага.

Положения, выносимые на защиту.

На защиту выносятся следующие положения:

– экспериментально установленное повышение показателей качества термомеханической массы, полученной из древесины ели и осины, а также их композиций, при высокочастотном размоле древесной щепы;

– оптимальные технологические параметры, позволяющие получать термомеханическую массу из композиции щепы, включающей до 30% древесины осины, с показателями качества, удовлетворяющими требованиям производства газетной бумаги;

– экспериментально установленное влияние технологических факторов на процесс получения термомеханической массы в условиях высокочастотного размола щепы из древесины ели, осины и их композиций на показатели качества газетной бумаги;

– научное обоснование повышения качества термомеханической массы и свойств газетной бумаги за счет легкой химической обработки щепы на стадии пропаривания в условиях высокочастотного размола;

– результаты опытно-промышленных испытаний разработанных технологических рекомендаций, позволяющих использовать древесину осины в количестве 20–30% в композиции щепы при получении термомеханической массы и в производстве газетной бумаги.

Личный вклад соискателя. Соискатель провел анализ патентной и научной литературы по теме диссертации; принял непосредственное участие в формулировании цели и задач исследований; в получении, обработке, интерпретации полученных экспериментальных данных; в подготовке публикаций; в проведении опытно-промышленных испытаний разработанных рекомендаций. В основу диссертационной работы положены обобщенные результаты исследований, проведенных на кафедре химической переработки древесины и республиканском производственном унитарном предприятии «Завод газетной бумаги» (РУП «Завод газетной бумаги»). В соавторстве подготовлены публикации и заявки на патент: «Волокнистая композиция для изготовления газетной бумаги» (№ а 20130159, от 08.02.2013), «Композиция для изготовления бумаги-основы для легкой мелованной бумаги» (№ а 20130974 от 18.08.2013), «Способ получения волокнистого полуфабриката для газетной бумаги» (№ а 20130975 от 18.08.2013).

Апробация результатов диссертации. Основные положения работы докладывались на международных научно-технических конференциях: «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии» (г. Гродно, 29–30 октября 2009 г., 20–21 октября 2011 г.), «V Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых» (г. Днепропетровск, 20 – 22 апреля 2011 г.), «Региональной научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием» (г. Ярославль, 20 апреля 2011 г., 18 апреля 2012 г.), «XI Symposium on Graphic arts» (Czech Republic, Pardubice, 17 – 18 June

2013), а также на ежегодных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов БГТУ 2008 – 2014 гг.

Опубликованность результатов диссертации. По вопросам, относящимся к теме диссертации, опубликовано 13 печатных работ (2,71 авт. лист.), в том числе 5 в научных журналах рекомендованных ВАК Республики Беларусь (2,1 авт. лист.), 3 материала (0,30 авт. лист.) и 5 тезисов доклада научных конференций (0,31 авт. лист.).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 6 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Содержание работы изложено на 100 стр. машинописного текста. Работа содержит 34 рисунка (15 стр.), 26 таблиц (12 стр.), 113 использованных источников (10 стр.) и 6 приложений (42 стр.).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена анализу литературных сведений о технологическом процессе получения ТММ и требованиям к качеству древесного сырья – технологической щепы, которые регламентированы ГОСТ 15815.

Приведена информация об особенностях анатомического строения, ультраструктуры и химического состава древесины лиственных пород, в том числе осины (*Populus tremulae* L.), а также древесины ели (*P. Abies Karst*) – основного источника сырья для получения ТММ. Главным анатомическим элементом древесины осины являются короткие толстостенные волокна либриформа, которые практически в 2 раза уступают по размерам трахеидам древесины ели и поэтому она является наименее прочной из всех изученных пород. При этом ультраструктура клеточной стенки анатомических элементов древесины хвойных и лиственных пород принципиально одинакова; содержание целлюлозы в той и другой древесине примерно одинаково – усреднено 47 и 44%, гемицеллюлоз же в ели содержится меньше около 12–16%, в древесине осины – 26–28%; содержание лигнина составляет – 27–29% и 17–19% для древесины ели и осины соответственно. Пониженное содержание лигнина в древесине осины привлекает к ней повышенное внимание как сырья для получения ТММ. В последние годы производители печатных видов бумаги отдают предпочтение волокнистым полуфабрикатам с невысоким содержанием лигнина, так как его наличие существенно снижает устойчивость бумаги к старению [1–3].

Обобщена информация о свойствах и применении ТММ. Она относится к самому массовому и перспективному виду древесной механической массы, технология получения которой включает размол щепы на дисковых мельницах различной конструкции. Работы известных ученых в области получения

и применения волокнистых полуфабрикатов П. Х. Ласкеева, Д. М. Фляте, Ю. Н. Неленина, А. А. Леоновича, Л. Кейси, Дж. Курдина и др. были посвящены технологическим процессам и исследованиям свойств древесной массы, предназначенной для получения бумаги, картона и древесноволокнистых плит, с повышенным вниманием к хвойной древесине. Особенности древесины осины, как сырья для производства ТММ, предназначенной для получения массовых видов бумаги и картона, уделено мало внимания.

В тоже время, бумага, изготовленная из осиновой ТММ, обладает сравнительно низкими показателями качества, и для их повышения применяют длительную химическую обработку щепы перед размолом с получением химико-термомеханической массы (ХТММ). Организация ее производства требует дополнительно устанавливаемого дорогостоящего оборудования и большого расхода дефицитных химикатов – от 7 до 15% к а.с.в., которые не только вызывают повышение себестоимости продукции, но и загрязняют окружающую среду. В тоже время в литературных источниках не уделяется должного внимания изменениям свойств лигноуглеводного комплекса древесины, под действием химических реагентов в условиях высокоскоростного размола древесной щепы на дисковых мельницах, который осуществляется в технологии ТММ-RTS.

Настоящая диссертационная работа посвящена развитию исследований в данном направлении.

Вторая глава посвящена объектам и методам проведения исследований. Объектами исследования являлись образцы, изготовленные в лабораторных и промышленных условиях – ТММ, получаемой из древесины ели и осины, и композиций с различным их содержанием, газетная бумага, изготовленная из полученной ТММ. При выполнении исследований использовались современные методы и оборудование, такие как: лабораторный размольный комплект (ЛКР-1), позволяющий варьировать число оборотов и зазор между дисками мельницы НДМ-3, входящей в его состав; фракционер Messmer Bucheb MC Nett (Нидерланды), высокоточные приборы фирмы «Lorentzen & Wettre» (Швеция) для определения физико-механических показателей бумаги в соответствии с мировыми стандартами; ИК-спектроскопия, термогравиметрия, рентгенофазовый анализ и сканирующая микроскопия. Экспериментальные данные были подвергнуты статистической обработке с визуализацией полученных моделей с использованием функций электронных таблиц MS Excel.

В третьей главе представлены результаты исследований по установлению влияния технологических факторов процесса получения ТММ из древесины ели и осины на ее основные свойства.

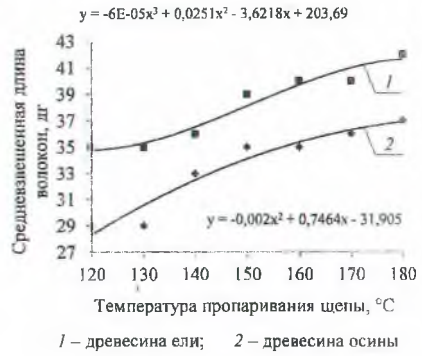
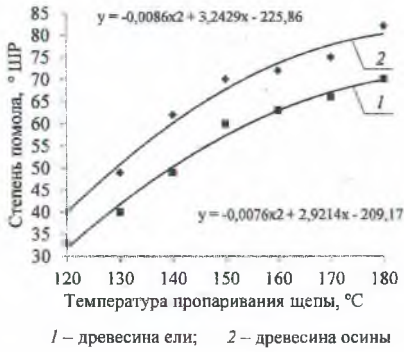


Рисунок 1 – Влияние температуры пропаривания щепы на степень помола массы и средневзвешенную длину волокон

Данные, представленные на рисунке 1, показывают, что при увеличении температуры пропаривания щепы в диапазоне 120–180 °С, степень помола массы и средневзвешенная длина волокна закономерно возрастают. При этом степень влияния этого технологического фактора на древесину сосны значительно выше, чем на древесину ели [3, 5, 7]. Размол щепы проводили при высокой частоте вращения диска лабораторной мельницы (2000 мин⁻¹) и в этом можно найти объяснение несоответствия динамики изменения того и другого показателя с температурой пропаривания.

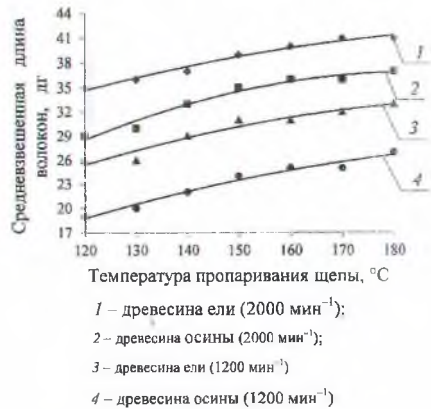
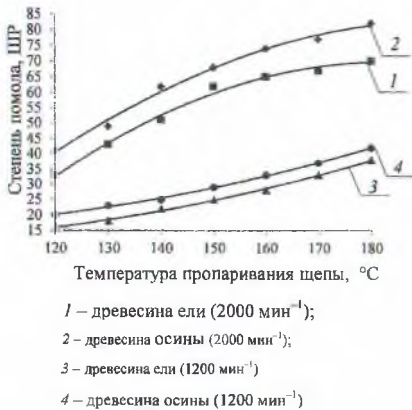


Рисунок 2 – Влияние частоты вращения диска мельницы на степень помола массы и средневзвешенную длину волокон

Из рисунка 2 видно, что степень помола массы и средневзвешенная длина волокон при проведении размола древесины с частотой вращения диска 2000 мин^{-1} более чем в 2 раза превышают значения этих же показатели при частоте вращения – 1200 мин^{-1} (традиционный размол). К объяснению полученного результата можно привлечь выводы из ранее проведенных исследований профессором Н.Я. Солечником релаксационных явлений при размоле древесины в дисковой мельнице с изменяемой интенсивностью. Действительно, увеличение частоты вращения диска мельницы, приводит к возрастанию частоты нагружений на волокна, вызывающих усталостные напряжения в них, что способствует повышению их пластичности и гибкости. В результате в получаемой древесноволокнистой массе происходит возрастание средневзвешенной длины волокон, которое для древесины осины проявилось в значительно большей степени, чем для древесины ели, имеющей более длинные и прочные волокна [6–9].

Влияние содержания древесины осины в композиции с древесиной ели на свойства ТММ показано на рисунке 3.

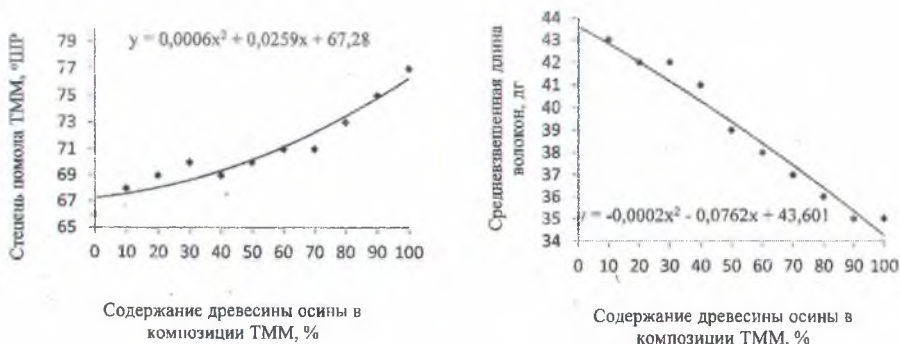


Рисунок 3 – Влияние содержания древесины осины в композиции с древесиной ели на степень помола и средневзвешенную длину волокон термомеханической массы

Совместный размол древесиной щепы из той и другой породы был проведен при частоте вращения диска мельницы – 2000 мин^{-1} . Содержание в композиции щепы из древесины осины варьировалось от 10 до 90%.

Из иллюстраций (рисунок 3) видно, что при увеличении доли древесины осины происходит закономерное возрастание степени помола массы с 68 до 75 °ШР и снижение средневзвешенной длины волокон ТММ с 43 до 35 дг, которое, обусловлено повышенным содержанием коротких волокон либриформа, которые присутствуют в древесине осины в объеме порядка 60%. Фракционный состав подтверждает вышесказанное (рисунок 4).

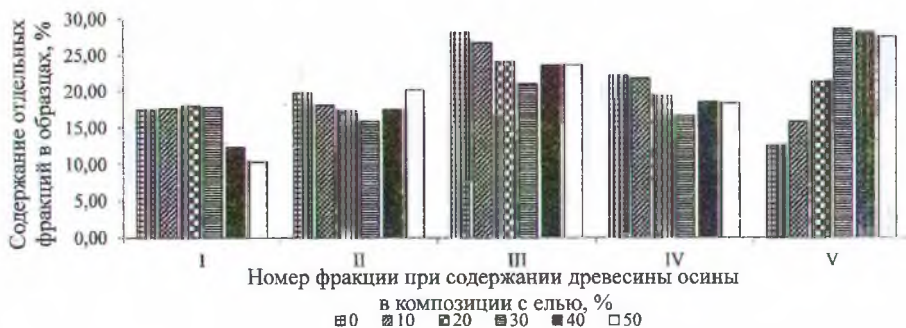


Рисунок 4 – Фракционный состав композиций термомеханической массы

В целях выдачи рекомендаций по промышленному использованию древесины осины в композиции с елью при получении ТММ и газетной бумаге на ее основе была выполнена оптимизация основных факторов процесса размола с привлечением плана Коно для 3-х факторного эксперимента. В результате было установлено, что оптимальной температурой пропаривания является 165°C , содержанию древесины осины в композиции – 30%, частота вращения диска мельницы – 2000 мин^{-1} (для диапазона рассмотренной частоты $1200\text{--}2000 \text{ мин}^{-1}$, лимитированного возможностями лабораторного оборудования). ТММ, полученная при названных параметрах, обладала высокими показателями качества – степень помола – 70°ШР , средневзвешенная длина волокон – 38 дг, содержание крупноволокнистой фракции – 28,5% [3– 5, 7].

Четвертая глава посвящена исследованию влияния технологических факторов процесса получения ТММ из древесины ели и осины (результаты которых изложены в 3 главе) на свойства полученной из нее газетной бумаги. Рассматривалось влияние на показатели газетной бумаги таких переменных факторов процесса получения ТММ, как температура пропаривания древесной щепы, частота вращения диска мельницы, содержание древесины осины в композиции щепы.

Степень помола ТММ, при проведении исследований применительно к тому и другому виду древесины составляла $67 \pm 2^{\circ}\text{ШР}$, которая по технологическому регламенту получения ТММ по способу RTS принята на РУП «Завод газетной бумаги». Лабораторные образцы газетной бумаги массой $45 \pm 1,5 \text{ г/м}^2$ получали в условиях, моделирующих технологию, принятую на этом предприятии с использованием лабораторного листоотливного аппарата системы «Rapid-Ketten».

Результаты проведенных исследований по установлению влияния температуры пропаривания щепы на свойства лабораторных образцов газетной бумаги представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние температуры пропаривания щепы на свойства газетной бумаги

Температура пропаривания щепы, °С	Разрывная длина, м	Удлинение при разрыве, %	Модуль Юнга, ГПа	Впитываемость по Коббу, г/м ²	Воздухопроницаемость, см ³ /мин
Свойства бумаги, изготовленной из еловой ТММ					
120	2890	1,18	2,321	150	510
130	2980	1,20	2,405	135	490
140	3460	1,26	2,439	123	480
150	4050	1,32	2,557	115	440
160	4170	1,35	2,555	106	440
170	5050	1,37	2,583	92	420
180	5000	1,37	2,611	85	410
Свойства бумаги, изготовленной из осиновой ТММ					
120	1320	1,05	2,453	152	530
130	1460	1,10	2,585	137	500
140	1610	1,15	2,665	122	490
150	1890	1,16	2,701	118	470
160	2650	1,18	2,733	113	460
170	2720	1,20	2,795	104	460
180	2800	1,21	2,812	96	450

Как видно из данных, в таблице 1, температура пропаривания щепы оказала существенное влияние на качество газетной бумаги. При увеличении температуры в диапазоне 120–180°С произошло закономерное улучшение всех ее показателей качества бумаги. Однако, как и ожидалось, прочность у образцов бумаги из еловой древесины была выше, чем из осиновой, и это нашло отражение на данных применительно к образцам, изготовленным из смешанных композиций (рисунок 5) [2, 9, 10, 13].

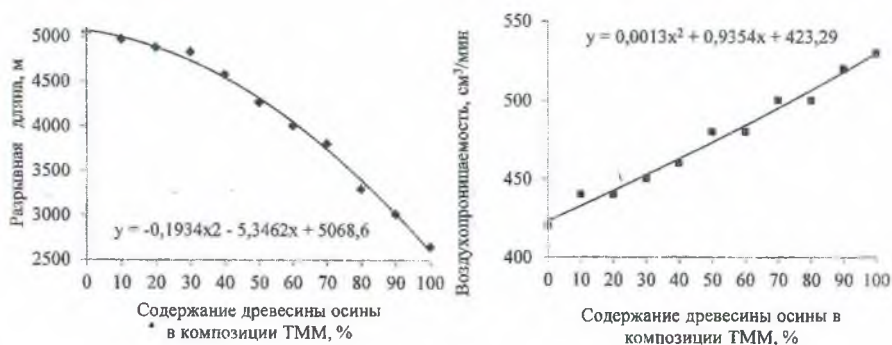


Рисунок 5 – Влияние содержания древесины осины в композиции с елью на разрывную длину и воздухопроницаемость бумаги

Из иллюстраций на рисунке 5 видно, что на разрывной длине бумаги (основном показателе ее прочности) содержание древесины осины в композиции с елью, как и ожидалось, отразилось негативно.

Однако, численные значения показателя разрывной длины бумаги в диапазоне соотношений древесины осины к ели до 80/20 оказались довольно высокими и соответствовали требованиям к высшим маркам газетной бумаги «О» и «В» (разрывная длина по ГОСТ 6445 – 3100 м) [3].

Пятая глава посвящена поиску возможности получения высококачественной особо тонкой газетной бумаги (42 ± 1 г/м²) в условиях высококачественного размола не только из древесины ели, но и при ее частичной замене древесиной осины.

В этих целях первоначально в лабораторных условиях был проведен эксперимент по химической обработке щепы при получении ТММ водным раствором сульфита натрия, который в условиях горячего размола с участием воды диссоциирует с образованием бисульфит иона, способного сульфитировать лигнин и гемицеллюлозы с приданием им гидрофильности и повышенной реакционной способности. Изучали влияние его расхода на показатели качества бумаги, полученной из ТММ, обработанной таким образом. Образцы ТММ получали при температуре пропаривания щепы $165 \pm 2^\circ\text{C}$, частоте вращения диска мельницы 2000 мин^{-1} , расход сульфита натрия варьировали в диапазоне от 1 до 10% к а.с. древесине.

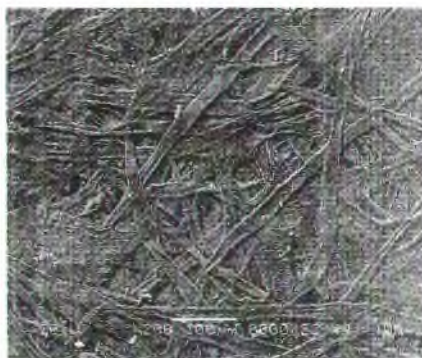
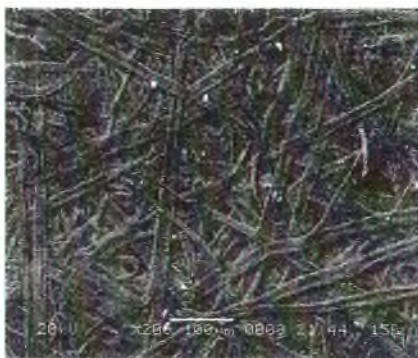
Результаты испытаний полученных образцов газетной бумаги представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические показатели лабораторных образцов газетной бумаги из химически обработанной термомеханической массы

Порода древесины	Расход сульфита натрия, % к а.с. древесины	Физико-механические показатели				
		Разрывная длина образцов бумаги, м	Модуль Юнга, ГПа	Удлинение при разрыве, %	Впитываемость по Коббу, г/м ²	Воздухопроницаемость, см ³ /мин
Ель	0	4640	2,02	1,35	110	550
	1	5520	2,38	1,43	102	350
	3	5690	2,49	1,47	94	280
	5	5750	2,68	1,57	87	200
	7	6330	2,75	1,62	75	170
	10	6980	2,89	1,75	65	140
Осина	0	2650	2,73	1,15	113	500
	1	4510	3,09	1,21	107	310
	3	5370	3,28	1,35	100	155
	5	5830	3,37	1,39	94	95
	7	5640	3,42	1,54	78	60
	10	9300	3,48	1,62	70	30

Из таблицы 2 видно, что использование водного раствора сульфата натрия в процессе получения ТММ очень эффективно, так как даже тонкая газетная бумага показала очень высокую прочность, которая значительно превзошла требования ГОСТ 6445 уже при 1%-м расходе химического реагента [3–4].

Из сканограмм поверхности бумаги, полученной на основе осинового ТММ, показанных на рисунке 6, в сравнении необработанной и обработанной химикатом древесины видно уплотнение ее поверхности за счет более тесного соприкосновения волокон и их расплющивания. Это находит подтверждение в снижении показателей воздухопроницаемости (таблица 2), а также удельной поверхности бумаги, определенной по методу БЭТ, которая при использовании химической обработки снизилась с 25 до 20 м²/г. Явление корреляции прочностных свойств с плотностью листовых материалов, получаемых из древесных волокон, хорошо известно и это несомненно нашло отражение в полученных закономерностях. Однако, это объяснение не может быть исчерпывающим, имея ввиду высокую реакционную способность древесины, являющейся 3-х компонентным природным композитом, и химического реагента, который в водной среде, как известно, диссоциирует с образованием высокорекреакционноспособных бисульфит-ионов.



а

б

а – из необработанной древесины,
б – из древесины, обработанной сульфитом натрия,

Рисунок 6 – Сканограммы поверхности бумаги на основе термохимической массы из древесины осины

Исследования, проведенные с привлечением современных физико-химических методов анализа, показали, что в ТММ, полученной после химического воздействия на древесину осины в лигнине произошли изменения, подтверждающие его участие в процессах образования прочности бу-

маги – интенсивность полос характерных, например для карбонильных групп снизилась в 1,3 раза, есть и другие изменения. Это же подтверждено, применительно к лигнину, термогравиметрическим анализом ТММ с расчетом энергии активации по методу Бройдо, усовершенствованному профессором Н.Р. Прокопчуком (таблица 3), где показано, что значения энергии активации реакции деструкции лигнина древесины осины, обработанной химикатом возросла почти в 2 раза. Из этой же таблицы следует вывод об определенном участии полисахаридов в процессах, предшествующих сшивкам макромолекул.

Таблица 3– Энергия активации термической деструкции компонентов древесины

Образец ТММ, полученный из:	E_d полисахаридов, кДж/моль	E_d лигнина, кДж/моль
исходной древесины осины	77,8	34,4
древесины осины, обработанной сульфитом натрия	68,9	61,2
исходной древесины ели	73,4	52,4
древесины ели, обработанной сульфитом натрия	71,2	41,7

К объяснению уплотнения структуры бумаги под действием химического реагента на исходную древесину, можно привлечь данные рентгенофазового анализа, иллюстрирующего повышения степени упорядоченности структуры макромолекул древесины под действием химиката. Все эти явления боле ярко выражены применительно к древесине осины.

В шестой главе представлены результаты проведенных опытно-промышленных испытаний разработанных технологических рекомендаций по получению ТММ в условиях высокочастотного размола щепы из композиции, включающей древесину ели и осины, на РУП «Завод газетной бумаги» (г. Шклов).

За время проведения опытно-промышленных испытаний в течение 3-х суток было выработано 316,7 т ТММ, из которых 268,2 т при замене 17% древесины ели на осину (вариант 1) и 48,5 т при замене 20% с использованием предварительной химической обработки композиции щепы (вариант 2). В период проведения опытно-промышленных испытаний работа цехов по производству ТММ и газетной бумаги осуществлялась по режиму, принятому технологическим регламентом предприятия с учетом разработанных нами рекомендаций по параметрам размола на I ступени: температура пропаривания щепы – $165 \pm 2^\circ\text{C}$, содержание древесины осины в композиции с елью – до 30%, частота вращения диска мельницы (рафинера) – не

менее 2000 мин⁻¹ (фактически частота вращения диска мельницы составила 2300 мин⁻¹). Расход химического реагента – 0,8% к а.с. древесине [4].

Замена части древесины ели на древесину осины не вызвала затруднений при составлении композиции щепы и в работе основного, и вспомогательного оборудования цехов. Степень помола массы после первой ступени составляла 28–30°ШР (обычно 25–26°ШР), фракционный состав изменился в сторону снижения на 2–3% доли крупноволокнистой фракции и увеличения количества мелковолокнистой фракции.

Из полученной по 2-м вариантам технологии ТММ было выпущено 289,2т газетной бумаги, которая по показателям качества соответствовала требованиям ГОСТ 6445 «Бумага газетная. Технические условия» на высокую марку «О». Основные результаты опытно-промышленных испытаний представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Показатели качества газетной бумаги, полученной в период опытно-промышленных испытаний (вариант 1)

Наименование показателей	Требования для газетной бумаги марки «О» по ГОСТ 6445 «Бумага газетная. Технические условия»	Свойства газетной бумаги, изготовленной	
		до испытаний (ТММ из древесины ели)	во время испытаний (ТММ из композиции древесины ели и осины)
Масса 1м ² , г	45,0±1,5	45,6	45,9
Разрывная длина в продольном направлении, м	3100	4150	4050
Сопrotивление раздиранию, мН	Не менее 196	293	249
Белизна, %	Не менее 60	60,0	60,0
Непрозрачность, %	Не менее 93	94,0	95,0
Гладкость, с (верх/сетка)	Не менее 30/30	43/38	40/36

Во время проведения опытно-промышленных испытаний установлена возможность увеличения производительности цеха ТММ на 3 т/сут, уменьшилось количество отходов, образующихся при сортировании массы на 10%, снизилось удельное потребление электроэнергии на 94 кВт ч/т массы.

Дополнительное исследование по анализу печатных свойств бумаги с использованием разработанной комплексной тестовой шкалы показали весьма положительное влияние на них наличия древесины осины в композиции ТММ [8].

Таблица 5 – Показатели качества газетной бумаги, полученной в период опытно-промышленных испытаний (вариант 2)

Наименование показателей	Требования для газетной бумаги марки «О» по ГОСТ 6445 «Бумага газетная. Технические условия»	Свойства газетной бумаги, изготовленной	
		до испытаний (ТММ из древесины ели)	во время испытаний (ТММ из композиции древесины ели и осины)
Масса 1м ² , г	45,0±1,5	46,2	45,9
Разрывная длина в продольном направлении, м	3100	4170	4470
Сопротивление раздиранью, мН	Не менее 196	214	239
Белизна, %	Не менее 60	59,4	60,4
Непрозрачность, %	Не менее 93	94,5	94,3
Гладкость, с (верх/ сетка)	Не менее 30/30	45/38	45/37

Данные таблицы 5 подтверждают целесообразность использования древесины осины в композиции с елью и применение химиката, образующего в водной среде бисульфит-ионы, в целях получения бумаги с повышенными физико-механическими и оптическими свойствами [3].

Ожидаемый годовой экономический эффект от замены 17% древесины ели на осину в композиции ТММ составляет 4600 млн. руб. применительно к выпуску 40000 т/г газетной бумаги марки «О», исходя из снижения ее себестоимости на 115 000 руб./т.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Научно обосновано и установлено влияние технологических факторов получения термомеханической массы из древесины ели и осины (частоты вращения диска мельницы, температуры пропаривания щепы, содержания древесины осины в композиции) на ее свойства (степень помола массы, средневзвешенная длина волокна, фракционный состав), позволившие установить повышенную эффективность высокочастотного размола в сравнении с традиционным, заключающуюся в ускорении процесса размола, улучшении качества массы и пригодность древесины осины в качестве заменителя древесины ели, которая при содержании в композиции до 30% не только не снижает показателей качества, но даже повышает их, в том числе и печатные свойства бумаги [1–3, 5, 9–11];

2. Определены оптимальные параметры получения ТММ из композиции щепы 70% древесины ели и 30% древесины осины (температура пропаривания – $165 \pm 2^\circ\text{C}$; частота вращения диска мельницы – 2000 мин^{-1}), позволяющие получать термомеханическую массу с высокими показателями качества (степень помола – 70°ШР ; средневзвешенная длина – 38 дг, содержание крупноволокнистой фракции – 28,5%) и газетную бумагу, удовлетворяющую требованиям ГОСТ 6445 для марки «О» в условиях высокочастотного размола древесины [3–5, 7, 8].

3. Установлена и научно обоснована возможность снижения массы газетной бумаги до $41 \pm 1 \text{ г/м}^2$ за счет дополнительной обработки щепы в процессе пропаривания химическим реагентом с расходом 1% к а.с.в., который в водной среде способен диссоциировать с образованием бисульфит-ионов, вызывающих значительное повышение прочности газетной бумаги и улучшение всех других стандартизированных показателей. Степень влияния такой обработки на древесину осины на 60% выше, чем на древесину ели [4, 6–8, 12, 13].

4. Результаты двух видов опытно-промышленных испытаний на РУП «Завод газетной бумаги» разработанных технологических рекомендаций по использованию древесины осины взамен древесины ели в количестве около 20% в условиях высокочастотного размола с дополнительной химической обработкой при получении ТММ для газетной бумаги массой 45 г/м^2 , подтверждающие целесообразность получения газетной бумаги из композиции древесины ели и осины. При этом было выработано по первому варианту 249 т газетной бумаги со средним значением разрывной длины 4050 м (по ГОСТ 6445 – не менее 3100 м), по второму варианту – 40 т со средним значением разрывной длины газетной бумаги 4470 м [3–5, 10, 13].

Рекомендации к практическому использованию

Разработанные рекомендации по технологии получения термомеханической массы из композиции щепы, включающей древесину ели и осины в условиях высокочастотного размола щепы могут быть использованы на предприятиях, вырабатывающих механическую массу с последующим ее применением в композиции разных видов бумаги и картона. Апробированные на РУП «Завод газетной бумаги» рекомендации, позволяющие получать высококачественную газетную бумагу, с использованием оптимизированных параметров пропаривания щепы и условий работы размалывающего оборудования, включают необходимость составления композиции щепы на стадии окорки и рубки с дозированием древесины ели и осины в соотношениях, учитывающих требования к качеству выпускаемой продукции. Для повышения прочностных и печатных свойств бумаги целесообразно использовать обработку составленной композиции щепы перед размолом химическим реагентом, образующим в водной среде бисульфит-ион [3–5].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи

1. Письменский, П.И. Современные виды и свойства волокнистых полуфабрикатов высокого выхода / П.И. Письменский, Д.В. Куземкин, Е.В. Дубоделова // Труды БГТУ. Сер. IV. Химия, технология орган. в-в и биотехнология. – 2009. – Вып. XVII. – С. 274–278.

2. Письменский, П.И. Проявление особенностей свойств древесины осины при получении древесной массы / П.И. Письменский, Е.В. Дубоделова, Т.А. Снопкова // Труды БГТУ. Сер. IV. Химия и технология орган. в-в. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 224–227.

3. Термомеханическая древесная масса для газетной бумаги / П.И. Письменский [и др.] // Труды БГТУ. Сер. IV. Химии, технологии орган. в-в и биотехнология. 2011. – Вып. XIX. – С. 171–173.

4. Химическое активирование компонентов древесины осины в производстве термомеханической массы / П.И. Письменский [и др.] // Труды БГТУ. Сер. Химии, технологии орган. в-в и биотехнология. 2012. – Вып. XX. – С. 169–172.

5. Письменский, П.И., Соловьева, Т.В. Получение волокнистого полуфабриката для газетной бумаги / П.И. Письменский, Т.В. Соловьева // Материалы, технологии, инструменты. – 2014. – Т. 19 – № 1. – С. 90–93.

Материалы конференций

6. Письменский, П.И., Дубоделова, Е.В., Соловьева, Т.В. Активирование компонентов лигноуглеводной матрицы лиственных пород древесины при производстве древесной механической массы [Электронный ресурс] / «Наука и практика 2008» – г. Днепрпетровск, 2008. – режим доступа : http://www.rusnauka.com/16_NTP_2008/Chimia/34113.doc.htm. Дата доступа : 01.09.2008.

7. Использование древесины осины (*Populus Tremulae*) в технологии термомеханической массы / П.И. Письменский. [и др.] // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: материалы VIII междунар. науч.-техн. конф. – Гродно, 29–30 октября 2009 г. / НАН Беларуси [и др.]; редкол.: А.И. Свириденко (отв. ред.) [и др.] – Гродно : ГрГУ, 2010 г. – С. 221–225.

8. Construction the correlation model of a paper composition and quality metric of printing result / P. Pismenski [et al.] // Materials of the conference XI Symposium on Graphic arts. – Czech Republic, Pardubice, 17–18 June 2013 – P. 126–129.

Тезисы докладов

9. Использование древесины осины (*Populus Tremulae*) в технологии термомеханической массы / П.И. Письменский. [и др.] // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: материалы VIII междунар. науч.-техн. конф. – Гродно, 29–30 октября 2009 г. / НАН Беларуси [и др.]; редкол.: А.И. Свириденко (отв. ред.) [и др.] – Гродно : ГрГУ, 2010 г. – С. 221–225.



1831 др

щие экологически чистые технологии: тезисы докладов VIII междунар. науч.-техн. конф. – Гродно, 29–30 октября 2009 г. / НАН Беларуси [и др.]; редкол.: А.И. Свириденко (отв. ред.) [и др.] – Гродно: ГрГУ, 2009 г. – С. 213.

10. Письменский, П.И. Использование древесины осины в технологии термомеханической массы для газетной бумаги / П.И. Письменский, Н.А. Сычева, Т.В. Соловьева // Сборник тезисов докладов 64-ой Региональной научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. – Ярославль : ЯГТУ, 2011. – С. 107.

11. Письменский, П.И. Энергосберегающая технология получения термомеханической массы / П.И. Письменский, Е.В. Дубоделова, Т.В. Соловьева // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тезисы докладов IX междунар. науч.-техн. конф. - Гродно, 20-21 октября 2011 г. / НАН Беларуси [и др.]; редкол.: А.И. Свириденко (отв. ред.) [и др.] – Гродно : ГрГУ, 2011 г. – С. 88.

12. Письменский, П.И. Технология химически активной термомеханической массы предназначенной для газетной бумаги / П.И. Письменский // Сборник тезисов докладов V международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Химия и современные технологии», г. Днепрпетровск 20-22 апреля 2011 г. – С. 240.

13. Письменский, П.И. Получение термомеханической массы с использованием древесины осины в производстве газетной бумаги / П.И. Письменский, Т.В. Соловьева // Сборник тезисов докладов 65-ой Региональной научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. – Ярославль : ЯГТУ, 2012. – С. 135.

Заявки на выдачу патента Республики Беларусь

14. Волокнистая композиция для изготовления газетной бумаги: заявка на пат. Респ. Беларусь / П.И. Письменский, О.А. Новосельская, Т.В. Соловьева, Ю.Г. Лука, Е.Л. Каташевич. – № а 20130159; заявитель учреждение образования «Бел. гос. технолог. ун-т»; заявл. 08.02.2013 г.

15. Композиция для изготовления бумаги-основы для легкой мелованной бумаги : заявка на пат. Респ. Беларусь / О.А. Новосельская, П.И. Письменский, Т.В. Соловьева, Ю.Г. Лука, Е.Л. Каташевич. – № а 20130974; заявитель учреждение образования «Бел. гос. технолог. ун-т»; заявл. 18.08.2013 г.

16. Способ получения волокнистого полуфабриката для газетной бумаги : заявка на пат. Респ. Беларусь / Т.В. Соловьева, П.И. Письменский, О.А. Новосельская, Ю.Г. Лука, Е.Л. Каташевич. – № а 20130975; заявитель учреждение образования «Бел. гос. технолог. ун-т»; заявл. 18.08.2013 г.



РЕЗЮМЕ
Письменский Павел Игоревич

Термомеханическая масса для газетной бумаги с использованием в композиции
древесины осины

Ключевые слова: древесина осины, древесина ели, композиция щепы, высокочастотный размол, химическая обработка, термомеханическая масса, газетная бумага

Объектом исследования является технологический процесс получения ТММ с варьированием интенсивности размола щепы из ели, осины и их композиций из исходной и химически обработанной древесины. Предмет исследования – ТММ из древесины ели, осины и их композиции, изготовленная из нее газетная бумага.

Целью диссертационной работы являлось научное обоснование и разработка технологий, позволяющих эффективно использовать древесину осины (*Populus tremulae L.*) в композиции ТММ, получаемой высокочастотным размолем древесной щепы при производстве газетной бумаги.

При проведении исследований использованы методы: технологического и математического моделирования процесса получения ТММ, высокоточные приборы для определения свойств ТММ и физико-механических показателей газетной бумаги в соответствии с мировыми стандартами. Для оценки влияния химической обработки древесины ели и осины на свойства ТММ и бумаги применялись физико-химические методы анализа – термогравиметрия, ИК-спектроскопия, рентгенофазовый анализ и сканирующая электронная микроскопия.

В ходе исследований установлено влияние технологических факторов процесса получения ТММ из древесины ели и осины на ее свойства и качества бумаги. Анализ данных позволил установить повышенную эффективность высокочастотного размола щепы в дисковой мельнице при частоте вращения диска мельницы $2000 - 3000 \text{ мин}^{-1}$ в сравнении с традиционным ($1000 - 1200 \text{ мин}^{-1}$), заключающуюся в ускорении процесса размола, улучшении качества массы и газетной бумаги, подтверждающую целесообразность использования древесины осины в качестве заменителя древесины ели до 30%. Установлена необходимость химической обработки щепы при получении ТММ для тонкой газетной бумаги.

Разработанные рекомендации по технологии получения ТММ из композиции щепы, включающей древесину ели и осины в условиях ее высокочастотного размола, прошедшие опытно-промышленную испытания на РУП «Завод газетной бумаги» (г. Шклов) приняты к внедрению с ожидаемым экономическим эффектом на сумму 4 600 млн. руб. в год.

РЭЗІЮМЭ
Пісьменскі Павел Ігаравіч

Тэрмамеханічная маса для газетнай паперы з выкарыстаннем
у кампазіцыі драўніны асіны

Ключавыя словы : драўніна асіны , драўніна елкі , кампазіцыя драўніны ,
высокачашчынны размол , хімічная апрацоўка , тэрмамеханічная маса ,
газетная папера

Аб'ектам даследавання з'яўляецца тэхналагічны працэс атрымання ТММ з
вар'іраваннем інтэнсіўнасці мліва драўніны з елкі, асіны і іх кампазіцыяў з крыніч-
най і хімічна апрацаванай драўніны. Прадмет даследавання – ТММ з драўніны
елкі, асіны і іх кампазіцыяў, вырабленая з яе газетная папера .

Мэтай дысертацыйнай работы з'яўлялася навуковае абгрунтаванне і рас-
працоўка тэхналогій , якія дазваляюць эфектыўна выкарыстоўваць драўніну
асіны (*Populus tremulae L.*) у кампазіцыі ТММ , атрыманай высокачашчынным
размолам драўнінай драўніны пры вытворчасці газетнай паперы .

Пры правядзенні даследаванняў выкарыстаны метады: тэхналагічнага і
матэматычнага мадэлявання працэсу атрымання ТММ , высокадакладныя пры-
боры для вызначэння ўласцівасцяў ТММ і фізіка -механічных паказчыкаў га-
зетнай паперы ў адпаведнасці з сусветнымі стандартамі. Для ацэнкі ўплыву
хімічнай апрацоўкі драўніны елкі і асіны на ўласцівасці ТММ і паперы ўжы-
валіся фізіка-хімічныя метады аналізу – термогравіметрыя , ІК-спектраскапія,
рентгенафазовы аналіз і сканавальная электронная мікраскапія .

У ходзе даследаванняў устаноўлена ўплыў тэхналагічных фактараў
працэсу атрымання ТММ з драўніны елі і асіны на яе ўласцівасці і якасці папе-
ры. Аналіз дадзеных дазволіў усталяваць падвышаную эфектыўнасць высока-
чашчыннага мліва драўніны ў дыскавай млыне пры частаце кручэння дыска млына
2000 – 3000 мін^{-1} у параўнанні з традыцыйным (1000 – 1200 мін^{-1}), якая заклю-
чаецца ў паскарэнні працэсу мліва, паляпшэнні якасці масы і газетнай паперы,
якая пацвярджае мэтазгоднасць выкарыстання драўніны асіны ў якасці замен-
ніка драўніны елкі да 30%. Устаноўлена неабходнасць хімічнай апрацоўкі
драўніны пры атрыманні ТММ для тонкай газетнай паперы.

Распрацаваныя рэкамендацыі па тэхналогіі атрымання ТММ з кампазіцыяў
драўніны, у якую ўваходзяць драўніну елі і асіны ва ўмовах яе высокачашчыннага
мліва, якія прайшлі доследна-прамысловыя выпрабаванні на РУП «Завод газет-
най паперы» (г. Шклоў) прынятыя да ўкаранення з чаканым эканамічным эфек-
там на суму 4 600 тыс. руб. у год.

SUMMARY

Pismensky Paul

Thermomechanical pulp for newsprint using a composition of aspen wood

Keywords: aspen wood, spruce wood, composition chips
high refining, chemical processing, thermomechanical pulp,
newsprint

The object of this study is to obtain TMM process with varying intensity grinding chips from spruce and aspen and their compositions from the original and chemically treated wood. Subject of research - TMM of spruce, aspen and their composition made of her newsprint.

The aim of the thesis is a scientific study and development of technologies that enable the effective use wood aspen (*Populus tremulae L.*) in the composition of TMM received high frequency grinding wood chips in the production of newsprint.

In research methods used: technological and mathematical modeling of the process of obtaining TMM, precision instruments for determining the properties of TMM and physico-mechanical properties of newsprint in accordance with international standards. To assess the effect of chemical treatment spruce and aspen on the properties of TMM and paper used physico-chemical methods of analysis - thermogravimetry, IR spectroscopy, X-ray diffraction and scanning electron microscopy.

The studies determined the influence of technological factors TMM production process of spruce and aspen on its properties and quality of the paper. Analysis of the data allowed us to establish greater efficiency in the high-frequency chips grinding disc mill at a speed disk mill $2000 - 3000 \text{ min}^{-1}$ compared with the conventional ($1000 - 1200 \text{ min}^{-1}$), is to accelerate the grinding process, improving the quality and weight of newsprint, confirming appropriateness of the use of aspen wood as a substitute for spruce and 30%. Established the need for chemical processing chips in the preparation for TMM thin newsprint.

Developed recommendations on technology for the composition of TMM chips consisting of spruce and aspen wood in terms of its high-frequency grinding past pilot testing at RUE "Newsprint mill" (Shklov) taken to introduce the expected economic effect in the amount of 4,600 million rubles. per year.

Научное издание

Письменский Павел Игоревич

**ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ МАССА ДЛЯ ГАЗЕТНОЙ
БУМАГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КОМПОЗИЦИИ
ДРЕВЕСИНЫ ОСИНЫ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.21.03 – технология и оборудование
химической переработки биомассы дерева; химия древесины

Ответственный за выпуск П.И. Письменский

Подписано в печать 19.05.2014. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,3.
Тираж 60 экз. Заказ 433.

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
ЛП № 02330/12 от 30.12.2013.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.