

В диссертационный совет
24.2.403.03 при ФБГОУ ВО
«Сибирский государственный
университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева»

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Сивакова Валерия Павловича на диссертационную работу **Каплёва Евгения Вячеславовича «Получение микрокристаллической целлюлозы из биоповрежденной древесины»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 4.3.4 – Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Каплёва Е.В. посвящена решению актуальной научно-технической задачи – разработке эффективной технологии получения востребованного продукта (микрокристаллической целлюлозы (МКЦ)) из нетрадиционного сырья – биоповрежденной древесины.

Существующие мировые практики получения МКЦ основаны на использовании дорогостоящей целлюлозы из деловой древесины или хлопковой целлюлозы, ресурсная база которой в РФ ограничена. В условиях дефицита качественного древесного сырья, ежегодного усыхания лесов от воздействия вредителей (таких как уссурийский полиграф, сибирский шелкопряд) и роста пожарной опасности из-за накопления сухостоя, проблема вовлечения биоповрежденной древесины в хозяйственный оборот является стратегически важной для лесного комплекса России. Разработанный автором подход не только расширяет сырьевую базу для производства высокотехнологичного продукта, но и способствует решению экологических проблем, связанных с утилизацией отходов лесопользования.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Выводы и научные положения, представленные в диссертации, являются логически обоснованными и достоверными. Это подтверждается большим объе-

мом экспериментальных исследований, выполненных с использованием современных методик, применением современного аналитического оборудования, корректной статистической обработкой данных с использованием регрессионного анализа и планирования эксперимента, что подтверждается высокими значениями коэффициентов детерминации, положительными результатами апробации работы на всероссийских и международных конференциях.

Научная новизна исследований и полученных результатов

Впервые научно обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования биоповрежденной древесины (пихты, лиственницы, осины) в качестве сырья для получения МКЦ.

Разработан новый способ получения МКЦ, ключевым отличием которого является включение стадии предгидролизного гидродинамического размола волокнистой массы на безножевой установке типа «струя-преграда» (защищено патентом RU 2797202 C1). Это позволяет интенсифицировать последующий кислотный гидролиз.

Впервые с использованием методов математического планирования эксперимента получены регрессионные модели, количественно описывающие влияние технологических параметров (степень помола, концентрация кислоты, температура, продолжительность) на степень полимеризации и индекс кристалличности МКЦ.

Установлены закономерности влияния степени помола волокнистой массы на структурно-морфологические свойства получаемой МКЦ и на физико-механические характеристики композиционных материалов (бумажных отливок и вулканизируемых резиновых смесей) с ее добавлением.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость работы заключается в установлении количественных зависимостей между параметрами предгидролизного размола, режимами гидролиза и свойствами получаемой МКЦ. Разработанные регрессионные уравнения позволяют прогнозировать качество целевого продукта.

Практическая значимость подтверждается разработкой и защитой 4 патентов РФ на изобретение, в том числе на способ получения МКЦ и вулканизируемой резиновой смеси; созданием принципиальной технологической схемы полу-

чения МКЦ из биоповрежденной древесины, позволяющей снизить себестоимость продукта; наличием актов о внедрении результатов в производство (ООО «СК-Полимеры») и в учебный процесс СибГУ им. М.Ф. Решетнева.

Личный вклад автора

Автор лично провел анализ литературных источников, выполнил весь объем экспериментальных исследований, обработал и проанализировал полученные данные, сформулировал научные положения и выводы, участвовал в подготовке публикаций и заявок на патенты. Личный вклад автора в работу является определяющим.

Общая характеристика работы

Диссертация изложена на 170 страницах, включает 18 рисунков, 15 таблиц, состоит из введения, аналитического обзора, методов исследования, результатов эксперимента, оценки экономической эффективности производства микрокристаллической целлюлозы из биоповрежденной древесины, заключения, библиографического списка из 197 наименований и 5 приложений.

Основные положения диссертационной работы изложены в 35 публикациях, из них 4 – в изданиях перечня ВАК, 4 – в базах данных Scopus и Web of Science, получено 4 патента Российской Федерации на изобретение.

Во *введении* обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость.

В *первой главе (аналитический обзор)* автором проведен анализ литературных источников о состоянии биоповрежденных лесных массивов Сибири как потенциального сырьевого ресурса, изучены свойства порошковых целлюлозных материалов, в том числе МКЦ. Особое внимание уделено процессу безножевого размола на установке типа «струя-преграда». Обоснована целесообразность использования предгидролизного размола волокнистой массы. По результатам обзора сделаны выводы и сформулированы задачи исследования.

Во *второй главе (методы исследования)* приведена подробная характеристика материалов и методов исследования, включая методики для контроля процессов варки, отбелики, размола на установке «струя-преграда», гидролиза, методики для оценки физико-механических свойств вулканизируемых резиновых смесей. Приведена методика планирования и обработки экспериментальных данных с использованием программы STATGRAPHICS® Centurion.

Во *второй главе (методы исследования)* представлена развернутая характеристика объектов и методов исследования. Детально описаны методики контроля технологических процессов: сульфатной варки, отбели, гидродинамического размола на установке типа «струя-преграда» и кислотного гидролиза. Приведены методы оценки физико-механических свойств вулканизируемых резиновых смесей. Отдельное внимание уделено методике планирования эксперимента и статистической обработке полученных данных с применением пакета прикладных программ STATGRAPHICS® Centurion.

В *третьей главе (результаты эксперимента)* представлены результаты экспериментального определения количественных показателей физико-химических свойств целлюлозы, полученной из биоповрежденной древесины с разной степенью поражения, а также структурно-морфологических характеристик волокнистой массы. Разработаны технологические режимы варки, позволяющие получать из биоповрежденного сырья целлюлозу с качественными показателями, сопоставимыми с целлюлозой из деловой древесины. Выполнен сравнительный анализ структурно-морфологических свойств МКЦ из биоповрежденной древесины и коммерческого образца МКЦ из делового сырья.

В *четвертой главе (оценка экономической эффективности производства МКЦ из биоповрежденной древесины)* представлен экономический анализ, подтверждающий обоснованность разработанной технологии. Установлено, что экономия затрат на производство одной тонны МКЦ по разработанной технологии достигает 20 % в сравнении с деловой древесиной. Показано, что вовлечение биоповрежденной древесины в переработку способствует расширению сырьевой базы целлюлозно-бумажной промышленности.

Заключение содержит 7 обоснованных выводов, полностью соответствующих поставленным задачам.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям Положения о присуждении ученых степеней

Автореферат и диссертация соответствуют требованиям Положения о порядке присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.4 – Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины. Область исследований соответствует п. 4 – Технология и

продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном, лесопильном, деревообрабатывающем, целлюлозно-бумажном, лесохимическом и сопутствующих им производствах.

Вопросы и замечания и по диссертационной работе

Вопросы

1. В литературном обзоре и тексте работы не рассмотрены вопросы по химическому и другим видам борьбы с насекомыми, повреждающими лесные массивы. Возможно, уже созданы (или разрабатываются) эффективные методы предотвращения биоповреждений деревьев, что снизит значимость диссертационного исследования.

2. Отсутствует вариативность рассмотрения производства микрокристаллической целлюлозы. Зачем проектировать новое производство? На предприятиях РФ хорошо развито сульфатное производство целлюлозы. Возможно более приемлем вариант модернизации типового сульфатного производства целлюлозы с установкой дополнительного цеха производства МКЦ, что привлекательно для предприятий из-за расширения ассортимента дефицитного и востребованного продукта.

3. Предгидролизный размол волокнистых материалов представлен в виде краткого описания (одна страница текста). Способ и оборудование предгидролизного размола в установке «струя-преграда» обладает научной новизной, к сожалению, автор не представил технологическую схему установки от подачи сырья до получения требуемого полуфабриката. Почему не разработаны технологическая и рабочая циклограммы установки «струя-преграда»?

4. На стр. 67 написано «...разработан способ получения МКЦ предгидролизным размолем волокнистой массы, результаты экспериментальных исследований *апробированы* на... конференциях и в научных публикациях». Разработанный способ получения МКЦ можно внедрить на производство, а результаты экспериментальных исследований представить и обсудить на конференциях, но не апробировать.

5. В научных исследованиях перед новым экспериментом обязателен расчет его общей ошибки измерений и проверка воспроизводимости. Почему в планировании четырехфакторного эксперимента процесса гидролиза (стр.40) эти вопросы не исследованы?

6. В описании характеристик экспериментальной установки «струя-преграда» (стр. 62) нет данных по расчету мощности потребляемой на размол одного кг абсолютно сухой целлюлозы, а в экономических расчетах табл. 4.2. указано, что на размол 1 т целлюлозы расходуется 6,5 кВт.ч/т? Каким образом определен расход электроэнергии?

7. Расчет экономической эффективности выполнен по предлагаемой схеме (рис. 3.1.) без обоснования передаточных функций теории подобия по геометрическим, технологическим, энергетическим и другим факторам между экспериментальной установкой «струя-преграда» (исследован размол 1 кг абсолютно сухой целлюлозы) и производственным аналогом установки «струя-преграда» (размол от 1000 кг абсолютно сухой целлюлозы), что не корректно.

8. Биоповрежденная древесина усыхает примерно в течение одного – двух лет и классифицируется как сухостойная, но существуют и другие причины образования сухостоя, например, влияние климата, мелиорационных изменений, сельскохозяйственные работы и других факторов. Каким образом осуществляется сортировка древесины с разными видами поражения?

9. В таблицах 4.1 и 4.2 (диссертация, стр. 106-112) в столбце «Экономия» присутствуют отрицательные значения (например, -1275 руб. по статье «Размол волокнистых полуфабрикатов»), однако в тексте не поясняется, почему расходы на воду и электроэнергию при размолу биоповрежденной древесины выше, чем для деловой.

10. Почему для гидролиза выбрана именно соляная кислота, а не серная или другая?

Замечания

11. Подробно, стр.40-46 изложена технология сульфатной варки целлюлозы хорошо отработанного технологического расчета. Без ущерба для работы текст можно сократить ссылкой на литературные источники и ограничиться постановкой задачи и информацией по отличительным признакам планируемой варки.

12. На рисунке 3.1 (стр. 67) приведена принципиальная технологическая схема получения МКЦ. Желательно было бы указать на схеме материальные потоки (расход сырья, реагентов, выход продукта на основных стадиях) для большей информативности.

13. В автореферате сделаны ссылки на рисунки 3.5. и 3.8. из диссертации, но в автореферате этих рисунков нет, что некорректно, так как автореферат является отдельным документом.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки представленной к защите работы.

Заключение

Диссертационная работа Каплёва Евгения Вячеславовича «Получение микрокристаллической целлюлозы из биоповрежденной древесины» представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842).

Представленная работа является завершенным научно-квалификационным исследованием, содержащим решение актуальной научной задачи. Соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.4. – Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины.

Официальный оппонент:

доктор технических наук (специальность 05.21.03 – Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины), профессор, профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

620100, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37

Тел. +7 (343) 221-21-86

E-mail: sivakovvp@m.usfeu.ru

«13» мая 2026 г.

Сиваков Валерий Павлович

Подпись _____

заверяю

Ведущий документооборота

«В»

05

2026 г.

_____ (ФИО)

