

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Вураско Алеси Валерьевны на диссертационную работу Слизиковой Елены Александровны «Совершенствование способа получения микрокристаллической целлюлозы из отходов растительного происхождения», представленную на соискание ученой 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 Слизиковой Е.А. посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи – разработке эффективного и экономически обоснованного способа получения микрокристаллической целлюлозы (МКЦ) из нетрадиционного вида сырья – отходов растительного происхождения.

Актуальность темы обусловлена растущими потребностями отечественной промышленности в МКЦ, которые находят широкое применение в фармацевтике, косметике, производстве композиционных материалов, упаковки и других отраслях. В настоящее время российский рынок данных продуктов практически полностью зависит от импорта (преимущественно из Индии и Китая). Отечественная промышленность ограничивается производством порошковой целлюлозы и незначительным количеством МКЦ, не всегда подходящего качества. Сложность решения задачи заключается в отсутствии достаточного количества сырья для получения МКЦ, а именно технической целлюлозы для химической переработки. Автором работы предложено расширить сырьевую базу и использовать сельскохозяйственные отходы для получения технической целлюлозы требуемого качества для изготовления МКЦ. Ежегодный объём сельскохозяйственных растительных отходов в Российской Федерации достигает порядка 90 млн т, из которых в хозяйственный оборот вовлекается не более 10 % от указанного количества. Кроме того, по сравнению с деловой древесиной растительные отходы обладают рядом преимуществ: быстрая возобновляемость за счёт короткого цикла роста, упрощённая схема сборки и транспортировки, относительно невысокая стоимость сырья. Однако их различие в структурно-морфологическом строении и неоднородность химического состава требует особого подхода к технологии при использовании данного вида сырья для

производства МКЦ. Для решения данной задачи диссертантом предложено ввести стадию размола растительного сырья перед проведением гидролиза, что позволит осуществлять кислотный гидролиз без учёта его структурно-морфологических особенностей. Таким образом, разработка импортозамещающих технологий получения КМЦ с использованием доступного сырья в виде сельскохозяйственных отходов является своевременной и практически значимой.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выносимые на защиту обоснованы и раскрыты в тексте диссертации. Достоверность и обоснованность выводов и рекомендаций автора базируется на применении современных методов, методик, поверенных приборов и оборудовании, большом массиве экспериментальных данных, использовании стандартных методов проведения эксперимента с обработкой данных методами математической статистики и современного аналитического оборудования.

Работа прошла достаточную апробацию. Основные положения диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на международных и всероссийских научных конференциях: «Лесной и химический комплексы – проблемы и решения» (Красноярск, 2024 г.); «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов» (Архангельск, 2023 г.); «Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки» (Казань, 2023 г.); «Химия и технология растительных веществ» (Киров, 2022 г.), «Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и экологической безопасности» (Санкт-Петербург, 2022 г.).

Научная новизна исследований и полученных результатов

В работе впервые предложен и теоретически обоснован способ получения микрокристаллической целлюлозы из отходов растительного происхождения, предусматривающий предварительную стадию размола волокнистой массы перед проведением кислотного гидролиза. Размол проводили с применением восьмисекторной гарнитуры, имеющей прямолинейные формы ножей и угол наклона к радиусу $22,5^\circ$, что позволяет обеспечивать оптимальное соотношение фибриллирующего и режущего эффектов при снижении энергоёмкости.

Разработаны математические модели, позволяющие количественно описать влияние технологических параметров гидролиза (концентрация кислоты, степень помола, температура, продолжительность) на степень полимеризации и степень кристалличности целевого продукта.

Установлены закономерности влияния структурно-морфологических характеристик волокнистой массы, полученной из различных видов отходов рас-

тительного происхождения, на качественные показатели получаемой МКЦ. Установлены оптимальные режимы кислотного гидролиза, обеспечивающие максимальную экономическую эффективность производства.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

Результаты диссертационного исследования вносят существенный вклад в развитие научных представлений о процессах получения МКЦ из нетрадиционного сырья: расширены теоретические знания о механизме гидролиза целлюлозы при предварительной механической обработке волокнистой массы, экспериментально обоснована эффективность включения стадии размола перед проведением гидролиза при получении МКЦ из отходов растительного происхождения (соломы пшеницы, листьев ананаса, хлопкового линта), а также получены данные о реакционной способности указанных видов сырья. Это не только расширяет научные представления о потенциальной сырьевой базе для производства целлюлозных материалов, но и углубляет фундаментальные знания о механизмах гидролиза целлюлозы, даёт возможность прогнозировать свойства конечного продукта на основе характеристик исходного сырья и параметров обработки, а также создаёт научно обоснованные предпосылки для оптимизации промышленных процессов с учётом требований экономической и экологической эффективности.

Представленные в диссертационном исследовании результаты нашли практическое применение в учебном процессе (при подготовке специалистов фармацевтического и целлюлозно-бумажного производства) и апробированы в производственных условиях на ООО «Сибирский вкус» (г. Абакан, Республика Хакасия). Разработанные технические решения защищены тремя патентами Российской Федерации на изобретение.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы, включающего 175 ссылок на отечественные и зарубежные источники. Работа изложена на 170 страницах машинописного текста, содержит 16 таблиц, 24 рисунка и 10 приложений. В приложениях приведены результаты экспериментальных исследований и акты апробации.

Основные положения диссертационной работы изложены в 17 публикациях, из них две – в изданиях перечня ВАК, три – в журналах, индексируемых базой Scopus, получено три патента Российской Федерации на изобретение.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и основные задачи, определены объект и предмет исследования. Чет-

ко изложены положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлен анализ состояния вопроса в области производства микрокристаллической целлюлозы. Диссертантом проведен глубокий обзор используемых видов сырья, выявлены недостатки применения традиционной древесины (дороговизна, длительный период восстановления ресурсов) и обоснована перспективность использования сельскохозяйственных отходов (солома пшеницы, хлопковый линт, листья ананаса и др.). На основе анализа существующих технологических проблем обоснована необходимость включения стадии предгидролизного размола для повышения качества целевого продукта, что послужило базой для постановки цели и задач исследования.

Во второй главе приведено описание объектов исследования и применяемых методик. Автор описывает экспериментальные установки, в том числе полупромышленную дисковую мельницу с восьмисекторной гарнитурой, а также методы оценки качества сырья и готового продукта. Приведена методология планирования многофакторного эксперимента.

В третьей главе изложены основные научные результаты диссертации. Автором исследовано влияние степени помола (от 15 до 85 °ШР) на структурно-морфологические характеристики различных видов растительного сырья. Представлены результаты реализации многофакторного эксперимента, на основе которых получены математические модели, которые позволяют оценивать влияние концентрации кислоты, температуры, времени и степени помола на степень кристалличности и степень полимеризации, получаемой МКЦ. Также показана успешная интеграция полученной МКЦ в пищевую промышленность (на примере рецептуры мучных кондитерских изделий).

В четвертой главе приведен детальный расчет экономической эффективности: доказано, что использование отходов растительного происхождения и оптимизация параметров процесса гидролиза обеспечивают снижение себестоимости МКЦ на 55 тыс. руб. в расчете на 1 тонну готовой продукции.

В заключении приведены обоснованные выводы по результатам всего проведенного диссертационного исследования, которые полностью отражают решение поставленных задач.

Личный вклад соискателя

Личный вклад автора является определяющим на всех стадиях исследования. Соискателем самостоятельно определены цель и задачи работы, спланирована и выполнена экспериментальная часть, обработаны и обобщены полученные результаты, выведены аналитические зависимости, разработаны математические модели и проведены экспериментальные исследования. Личный вклад автора в полученные результаты является безусловным.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям положения о присуждении учёных степеней

Содержание диссертации и автореферата полностью соответствует поставленным целям и задачам. Автореферат и публикации в полной мере отражают содержание диссертации и дают представление о личном вкладе автора, научной новизне и практической значимости полученных результатов.

Автореферат и диссертация полностью соответствуют требованиям Положения о присуждении учёных степеней. Тематика соответствует специальности 4.3.4. – Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины ((п.4 «Технология и продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном, лесопильном, деревообрабатывающем, целлюлозно-бумажном, лесохимическом и сопутствующих им производствах»)).

Вопросы и замечания

Вопросы

1. Название работы «Совершенствование способа...». Поясните какой способ получения МКЦ взят за основу?

2. Как будет учитываться переменный состав сырья в зависимости от вегетационного периода, места произрастания, урожайности и т.п. Каковы количественные характеристики сырьевой базы (особенно листьев ананаса и хлопкового линта)?

3. При анализе недревесного растительного сырья для определения массовой доли лигнина используют ГОСТ 11960 «Полуфабрикаты волокнистые и сырьё из однолетних растений для целлюлозно-бумажного производства. Метод определения лигнина», который учитывает специфику такого сырья (наличие кислоторастворимого и кислотонерастворимого лигнина, белков). Почему в работе использовали сернокислотный метод?

4. Каков компонентный состав исходного сырья? Почему изначально в исходном сырье не определена степень кристалличности? Очевидно, что получать МКЦ из сырья с низкой степенью кристалличности нецелесообразно. Автор сделал упор на определение альфа-целлюлозы, но высокое содержание альфа-целлюлозы в сырье не всегда приводит к получению продукта с высокой степенью кристалличности. Показатель предельной степени полимеризации опосредованно характеризует количественное содержание аморфной и кристаллической части целлюлозы. К тому же гидролиз до предельной степени полимеризации прекрасно характеризует доступность целлюлозы для химических реагентов. В работе этот показатель описан, но не определен.

5. Вопросы по принципиальной схеме получения МКЦ (рис. 3.1). Почему на рисунке представлен варочный котел для непрерывной варки, а описание дано для периодического способа? Каким образом планируется использовать

такой котел для варки недревесного растительного сырья? Как будет учтена загрузка сырья его насыпная плотность, циркуляция варочного раствора и т.п. В автореферате приведена более приемлемая схема (рис. 2 стр.11). Какое отечественное предприятие сможет варить недревесное сырье по сульфатному способу и с хлорной отбелкой? Недревесное сырье варят натронным способом. Как будет решен вопрос с содержанием SiO_2 в черном щелоке? Система регенерации не справится с минеральными отложениями. Поэтому писать о «простой технологии регенерации отработанных химикатов» некорректно. При сульфатной варке используется сульфид натрия, а не сульфит, как написано в диссертации (стр. 74 и автореферате стр. 11).

6. На основании каких результатов выбран технологический режим сульфатной варки и схемы отбелки в лабораторных условиях?

7. При планировании эксперимента (стр. 67) в качестве выходных параметров не использован выход готового продукта? Почему?

8. В работе (стр. 76) написано, что отработанная кислота нейтрализуется добавлением карбоната кальция, едкого натра или соды. И потом куда этот нейтрализованный раствор направляется?

9. Основными показателями для расчета экономической эффективности являются выход готового продукта и расчет материального баланса. В методической части приведена методика определения выхода и даже непровара, но в работе выход указан только для варки соломы пшеницы и листьев ананаса (41 % и 37 % соответственно). Какие потери были при отбелке, промывке целлюлозы между ступенями отбелки? Какой выход МКЦ получен для каждого вида сырья? Как рассчитывался расход растительного сырья на 1 т. готовой продукции в виде МКЦ?

Замечания

Повтор ссылок [123, 123] стр. 70, к тому же эти ссылки относятся к источникам для получения целлюлозы высокого выхода, а не к бленной сульфатной целлюлозе для химической переработки; ошибка в слове эндодермис (стр.20 дисс., 9 строка снизу); стр. 75 абзац второй сверху пропущено слово (сырьем). В методической части не приведена методика определения сорбционной способности по йоду.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Считаю, что диссертационная работа Слизиковой Елены Александровны «Совершенствование способа получения микрокристаллической целлюлозы из отходов растительного происхождения», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, полностью соответствует требованиям по п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постанов-

лением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (со всеми изменениями и дополнениями), так как по практической значимости, актуальности является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, связанной получением микрокристаллической целлюлозы высокого качества из растительных сельскохозяйственных отходов по предложенному автором усовершенствованному способу, а ее автор, Слизикова Елена Александровна, заслуживает присуждения ей 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 технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Вураско Алеся Валерьевна

Адрес: 620199, Свердловская область,
г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37
тел. 8 (904) 383-46-63
e-mail: Vurasko2010@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет».

08.05.2026