

В Диссертационный совет 24.2.385.02
при Федеральном государственном
бюджетном образовательном
учреждении высшего образования
«Санкт-Петербургский
государственный университет
промышленных технологий и дизайна»

ОТЗЫВ

официального оппонента Говядина Ильи Константиновича

на диссертационную работу

Евдокимова Николая Викторовича

**«Технология подготовки композита на основе древесины для
последующего формования изделий»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 4.3.4. – «Технологии, машины и оборудование для лесного
хозяйства и переработки древесины»

1. Актуальность темы диссертационной работы

Исследования, посвященные разработке новых способов последующего изготовления изделий из композиционных материалов, содержащих частицы древесины и многокомпонентное связующее, являются актуальными, что подтверждается ежегодным увеличением инвестиций в аддитивные технологии. С ростом продаж 3D-принтеров растет спрос на расходные материалы в том числе и на порошковые материалы, смеси, полимеры. Известно, что древесину трудно адаптировать к 3D-печати без специальной обработки и подготовки. Большая часть расходов связана энергетическими затратами на размол. Особый интерес представляют исследования, которые могут дать энергетическую оценку процессу размолки различных пород, растущих в нашем регионе к использованию в качестве добавки в композит для производства ценного полуфабриката. Использование композита в жидком виде в качестве сырья для 3D-принтеров требует оценку реологических характеристик, так как это связано с подачей смеси через сопла небольшого диаметра. Реологическая характеристика древесно-полимерного композита устанавливает возможность её применения в 3D-печати для сопел определённых размеров. Известно, что 3D-печать осуществляется по разным принципам, каждый из которых во многом определяет прочностные, поверхностные, влагопрочные свойства изделий.

Таким образом, в работе решается актуальная техническая задача эффективного использования древесины для получения сырья для 3D-принтеров с высокой стоимостью, для чего изложены новые научно обоснованные зависимости удельных затрат энергии на размеры частиц древесины, реологических характеристик композита в жидком виде при различных содержаниях древесной муки в синтетическом полимерном связующем, зависимости термомеханических и механических характеристик

от содержания древесной муки. Принятые научно-обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития деревообрабатывающей промышленности нашей страны.

2. Научная новизна исследований и полученных результатов

Научной новизной обладают зависимости размеров частиц от удельных энергетических затрат на размол древесины различных пород. Представлены интервалы размеров частиц, при которых резко повышаются энергозатраты. Композиционный материал ранее не использовался при послойном формовании изделий, поэтому реологических и вязкостных характеристик для него нет.

По термомеханическим кривым впервые были установлены точки перехода из стеклообразного в высокоэластичное состояние предлагаемого древесно-полимерного композита на основе двухкомпонентного связующего. Также впервые было установлено оптимальное содержание древесной муки, соответствующее максимальному значению модуля накопления при изгибе.

Новизной обладают экспериментальные зависимости между свойствами композиционного материала на основе древесины и двухкомпонентного связующего с различным содержанием древесной муки.

3. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Степень обоснованности и достоверность научных положений и выводов подтверждается значительным числом проанализированных автором литературных источников (161 источник, подавляющее большинство из которых входят в международные базы научных работ). Также высокое качество работы подтверждается наличием публикаций в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, для которых характерно многократное рецензирование.

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается достаточным количеством и высокой сходимостью экспериментальных результатов, а также современными методами исследования, которые соответствуют цели работы и поставленным задачам. Сформулированные в тексте диссертации научные положения и выводы основаны на фактических данных, продемонстрированных в приведенных таблицах и рисунках. Анализ полученных данных и интерпретация результатов проведены с использованием современных методов обработки информации, с использованием надёжного программного обеспечения и программной обработки данных.

4. Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

По данным анализа размеров частиц, полученных оптической и сканирующей электронной микроскопии при различных удельных энергетических затратах на размол, соискатель рекомендовал наиболее

оптимальный вариант подготовки древесины для последующего получения композиции для аддитивных технологий. Дополнительным плюсом является интерес отечественного производителя мельниц, для которого была проведена оценка удельных энергетических затрат энергии на размол различных пород древесины, растущих в Северо-Западном регионе нашей страны с использованием недорогой оптической микроскопии и бесплатной программы.

Реологические характеристики при различных содержаниях древесной муки в композите позволили организовать эффективную работу подающего устройства 3D-принтера, оценить режимы печати для технологии послойного нанесения полимера в жидком виде (для заполнения) в сочетании с экструзией полимерного прутка из пластика (для создания контура изделия). Результаты теоретических исследований были использованы при разработке устройства для послойного формования по комбинированной технологии экструзии жидкой смесью (LiquidDepositionModeling - LDM) и экструзии термопластичного прутка из водорастворимого полимера (FusedDepositionModeling - FDM) (Патент № 220692).

Экспериментально установленный оптимальный состав древесно-полимерного композита, который соответствовал высоким механическим характеристикам изделий позволил изготовить по предлагаемой технологии и разработанному устройству декоративные изделия для мебели и конструктивные элементы оборудования ЦБП, на примере лопаток конвейера для транспортировки литой тары, производимой из макулатуры.

5. Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и выводов, библиографического списка и приложений. Диссертация изложена на 170 страницах машинописного текста и содержит 82 рисунка, 12 таблиц, 161 наименование использованных источников литературы.

Во введении представлена общая характеристика работы и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведён критический анализ литературных источников, где рассмотрены особенности размола древесины для получения древесно-полимерных композиционных материалов, проанализированы их свойства, в частности, реологические характеристики композита в жидком виде и термомеханические характеристики твёрдых изделий. Проведён обзор по способам послойного нанесения древесно-полимерных композитов, проанализированы конструкции экструдеров для изготовления изделий на основе жидких древесно-полимерных композитов, проведена оценка современного состояния проводимых исследований.

Во второй главе описаны объекты и методы исследования. Даётся характеристика частиц древесины различных пород и двухкомпонентных синтетических полимеров, реактопластов. Представлены характеристики размалывающего лабораторного оборудования, приборов для оценки влажности, насыпной плотности (Пат. №111663) и его описание,

характеристики прибора для оценки размеров частиц. Особое внимание уделяется разработанному двухэкструдерному устройству для послойного нанесения древесно-полимерного композиционного материала (Пат. № 220692). Приводятся характеристики оборудования для оценки реологических характеристик древесно-полимерного композита в жидком виде, термомеханических свойств, сканирующего электронного микроскопа, анализатора частиц. В работе была использована методика оценки размеров частиц древесины и равномерность их распределения в композиционном материале с помощью микроскопии и графической программы. Испытания произведённых из древесно-полимерного композита образцов по технологии комбинированной LDM и FDM 3D-печати осуществлялись с помощью стандартных методов (оценка твёрдости, сопротивления изгибу, сжатию, впитываемость влаги).

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям по подготовке древесно-полимерной композиции для послойного нанесения. Важной стадией подготовки является размол древесины, который связан с высокими затратами энергии, зависящими во многом от породы и свойств древесины. В работе были сопоставлены особенности размола древесины различных пород Северо-Западного региона нашей страны. Эффективность процесса определялась сравнением удельных затрат энергии и размеров частиц до и после размола в одинаковых условиях.

Были получены реологические и вязкостные характеристики жидкого композиционного материала на основе древесной муки и двухкомпонентного полимера на основе эпоксидной смолы с отвердителем.

Также получены термомеханические характеристики при анализе которых установлены свойства образцов.

Произведены исследования прочности, оценено предельное усилие при разрыве и сжатии и твёрдость образцов, с различным содержанием древесной муки в композиционном материале

Проведён анализа кривых сушек и механических характеристик образцов.

В четвёртой главе разработаны практические рекомендации и устройство для послойного формования изделий из композиционного материала на основе частиц древесины и многокомпонентного связующего путем экструзии жидкой смеси, совместно с экструзией водорастворимого полимерного прутка.

По результатам работы по технологии комбинированной LDM и FDM 3D-печати были изготовлены образцы декоративных изделий для мебели, а также конструктивный элемент оборудования для производства бугорчатых прокладок для яиц, а именно лопатки конвейера на предприятии ООО «Эко Пекеджинг Интернешнл Компани», которое располагается в Ленинградской области. Таким образом, подтверждена практическая значимость проведённых теоретических и экспериментальных исследований. Разработанное двухэкструдерное устройство, работающее по

комбинированной технологии LDM и FDM 3D-печати, показало работоспособность.

6. Соответствие автореферата основным положениям диссертации.

Представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук работа представляет собой завершенное научное исследование, отвечающее заявленной специальности 4.3.4. – «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины» по пунктам 4 и 9 паспорта специальности (4.Технология и продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном, лесопильном, деревообрабатывающем, целлюлозно-бумажном, лесохимическом и сопутствующих им производствах; 9. Связующие составы, защитно-декоративные материалы в производстве продукции деревоперерабатывающей промышленности). Сделанные по работе общие выводы соответствуют поставленным задачам и полученным результатам. Автореферат и публикации в полной мере отражают содержание диссертации.

7. Апробация работы

Результаты работы были представлены на отраслевых научно-практических конференциях в Воронеже(2014 г.); в Санкт-Петербурге(2014, 2021, 2022 г.г.). В 2021 г. Реализован проект «Повышение эффективности подготовки отходов из различных видов древесины для последующей переработки» при поддержке Комитета по науке и высшей школе Правительства СПб.

8. Личный вклад

Личный и уникальный вклад автора заключается в экспериментальной оценке физико-механических свойств древесно-полимерного композиционного материала, обработке полученных данных, обобщении результатов, формулировке выводов, создании приборов для измерения насыпной плотности древесной муки и опилок, разработке экструдеров для комплексной 3D-печати. Кроме того, автор подготовил и опубликовал результаты исследования в рецензируемых научных журналах.

9. Замечания по диссертационной работе

9.1. Валидация методов оценки: для повышения достоверности результатов, следует подробно описать методы оценки удельных энергетических затрат и провести валидацию предложенных подходов с использованием сравнения с известными методиками.

9.2. Анализ влияния параметров древесины на свойства композита: в работе акцентируется внимание на энергетических затратах размола древесины, однако также важно исследовать, как различные физико-

химические параметры древесины (влажность, плотность, химический состав) влияют на реологические и термомеханические свойства конечного композита.

9.3. Оптимизация состава композита: представлены данные об оптимальном содержании древесной муки в композите, но для полноты картины целесообразно провести дополнительный анализ влияния различных типов и пропорций связующих на свойства композита.

9.4. Экологические аспекты: в работе упоминается переработка отходов древесины, но не описывается экологическая составляющая процессов измельчения и формирования композитов. Целесообразно расширить исследование за счет анализа воздействия процесса на окружающую среду и потенциальной рециклируемости материалов.

9.5. Практическая реализация и экономическая оценка: помимо технических аспектов разработки, важно оценить экономическую эффективность предложенной технологии, включая сравнение существующих аналогов, анализ затрат на производство и потенциального рыночного спроса на конечную продукцию.

Следует отметить, что замечания не снижают общего положительного впечатления о работе и не противоречат сделанным в работе выводам и выносимым на защиту положениям.

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

Считаю, что диссертация Евдокимова Н.В. на тему: «Технология подготовки композита на основе древесины для послойного формования изделий» по актуальности, практической значимости, научной новизне и профессиональному уровню представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решается актуальная техническая задача эффективного использования древесины для получения сырья для 3D-принтеров с высокой стоимостью. Результаты диссертационной работы предназначены для практического применения в изготовлении деталей сложных форм на деревообрабатывающих предприятиях и конструктивных элементов в целлюлозно-бумажной промышленности. Внедрение разработок вносит значительный вклад в развитие экономики и безопасности страны в условиях ограничения закупок деталей и расходных материалов, оборудования, изготовленного зарубежными компаниями. Диссертация отвечает заявленной специальности 4.3.4. – «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины» по пунктам 4 и 9 паспорта специальности (4.Технология и продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном, лесопильном, деревообрабатывающем, целлюлозно-бумажном, лесохимическом и сопутствующих им производствах; 9. Связующие составы, защитно-декоративные материалы в производстве продукции деревообрабатывающей промышленности).

Диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Евдокимов Николай Викторович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.4. «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины».

Я, Говядин Илья Константинович, даю согласие на включение моих персональных данных в документах, связанных с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку».

Официальный оппонент:

к.т.н.(05.21.05 –«Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки»), проректор по цифровой трансформации и комплексной безопасности

Говядин
Илья Константинович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»
194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5
Тел.: +7 (812) 217-93-08
E-mail:prorec.govyadin@spbftu.ru