

УТВЕРЖДАЮ

**Первый проректор по
стратегическому развитию и науке,
ФГАОУ ВО «Северный
(Арктический) федеральный
университет имени
М.В. Ломоносова»
доктор технических наук, доцент**

_____ **Марьяндышев**

Павел Андреевич

«__» февраля 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ) на диссертационную работу **Евдокимова Николая Викторовича «Технология подготовки композита на основе древесины для послойного формования изделий»**, 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 Евдокимова Николая Викторовича посвящена разработке технологии подготовки наполнителя на основе древесной муки как компонента древесно-полимерного композита для послойного формования изделий при 3D-печати комбинацией экструзии жидким древесно-полимерным композитом и водорастворимым полимерным прутком.

Использование вторичных ресурсов, образующихся при переработке древесины, является актуальной задачей, как с точки зрения повышения комплексности использования перерабатываемой древесины, так и с точки зрения повышения экологической безопасности функционирования лесного комплекса. Многотоннажные отходы ЛПК в виде опилок в последние годы в основном применяются для производства твердого биотоплива второго поколения – пеллет и брикетов, то есть в энергетических целях. С другой стороны, опилки представляют собой измельченное древесное сырье, представляющее ценность для его

химической переработки. Одним из наиболее перспективных и быстроразвивающихся способов переработки опилок является их подготовка и использование в качестве сырья для аддитивных технологий. Мировой рост производства и использования в промышленности 3D-принтеров вызывает рост спроса на расходные материалы. Исследования в направлении использования измельченной древесины как компонента печатного композита весьма актуальны поскольку позволяет снизить экономические затраты на промышленную 3D-печать, а оптимизация состава композита не только позволяет обеспечить повышение качества готовой продукции, но, и за счет сокращения расхода полимерного связующего, улучшение экономических показателей производства продукции, получаемой с применением аддитивных технологий.

Цель и задачи диссертационной работы сформулированы в соответствии с темой диссертации и направлены на выполнение экспериментального обоснования величины энергетических затрат на размол древесины различных пород для получения древесной муки с размером частиц не более 200 мкм, позволяющей за счет применения их в составе композиционного состава, используемого при 3D-печати; определения оптимального состава многокомпонентного связующего с допустимым содержанием частиц древесины, соответствующим высоким прочностным и поверхностным характеристикам напечатанных образцов. Поведение композиционного материала, как многокомпонентной системы вариативного состава, будет напрямую зависеть от массовой доли древесного наполнителя, вида полимерного связующего и конструкции печатающего устройства. В связи с этим, тему диссертационной работы следует признать актуальной.

Новизна исследований и полученных результатов заключается в том, что на основании проведенного анализа поведения измельченного древесного сырья в дисковой мельнице, дано обоснование оптимального режима получения древесной муки, с учетом породы древесины и количества циклов размола, что выполнено впервые.

В результате исследований установлены величины и пределы варьирования реологических и вязкостных характеристик композиционного материала для послойного формования, в зависимости от содержания древесной муки, температуры и вида полимерного связующего. Установлены зависимости физико-механических свойств изделий, напечатанных с применением технологии послойного формования, от состава композита.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Представленные результаты основываются на большом экспериментальном материале, по определению фракционного состава опилок и энергозатрат на их размол, реологических свойств жидкого композиционного материала на основе древесины и связующего с отвердителем

для послойного формования по технологии LDM и FDM. Достоверность результатов исследования обеспечена использованием апробированных теоретических положений, репрезентативными сериями экспериментов с привлечением аттестованных средств измерения. Полученные закономерности соответствуют научным представлениям, описанным в отечественных и зарубежных литературных источниках. Автором предложена технология и разработано устройство для изготовления изделий методом послойного формования путём комбинации экструзии жидкой смесью (LDM) и экструзией прутка из водорастворимого полимера (FDM 3D-печать), применение которой позволит получить изделия с требуемым уровнем потребительских свойств.

При изучении фракционного состава измельчаемого древесного сырья и реологических свойств композиций, с различным составом полимерных связующих, использованы стандартные и современные методы исследований. Полученные закономерности не противоречат общепринятым научным представлениям и в целом соответствует современным воззрениям на механизмы измельчения древесины и реологические свойства полимерно-композитных систем. Установленные автором количественные закономерности подобранные параметры композиций, могут послужить основой для разработки оптимальной технологии подготовки расходных материалов для 3D-печати. Соответствие характеристик качества изготовленных по предложенной автором технологии изделий предъявляемым требованиям свидетельствует о достоверности полученных результатов и обоснованности научных положений, высказанных автором.

Значимость для науки и производства результатов, полученных автором данной диссертационной работы.

На основании анализа процессов измельчения древесины, разработан наиболее оптимальный, по мнению авторов, вариант подготовки древесины для последующего получения композиции для аддитивных технологий. Это выполнено как с учетом получения древесной муки с требуемым размером частиц, так и удельных энергетических затрат энергии. Показано преимущество использования древесной муки в композиции для аддитивных технологий.

Полученные зависимости реологических характеристик 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 исследований были использованы при разработке устройства для послойного формования по комбинированной технологии экструзии жидкой смесью (LDM) и экструзии термопластичного прутка из водорастворимого полимера (FDM), что защищено патентом РФ № 220692.

Результаты диссертационной работы могут быть полезными при производстве расходных материалов для промышленной 3D-печати, поскольку позволяют получить изделие с заданным уровнем потребительских свойств.

Для промышленного производства представляют интерес экспериментально установленный оптимальный состав древесно-полимерного композита, который обеспечивает высокие механические характеристики печатаемых изделий, который позволил изготовить по предлагаемой технологии и с применением разработанного устройства декоративные изделия для мебели и конструктивные элементы оборудования ЦБП, на примере лопаток конвейера для транспортировки литой тары, производимой из макулатуры.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты проведенных исследований – защищенное патентом РФ двух экструдерное устройство для послойного формования по комбинированной технологии LDM и FDM, может быть использовано для изготовления методом 3D-печати конструктивных элементов оборудования ЛПК, не требующих повышенных характеристик прочности и жесткости.

Результаты работы реализованы в виде двух патентов Российской Федерации на полезную модель.

Апробация разработанных решений в условиях ООО «ДробТехМаш» и ООО «Эко Пэкоджинг Интернейшнл Компани» подтвердили эффективность предложенных рекомендаций и технических устройств для 3D-печати с применением композитов на основе древесных материалов.

Замечания по содержанию диссертации:

По диссертационной работе Евдокимова Николая Викторовича имеются следующие замечания:

1) Вызывает вопрос выбор пород древесины. В работе указано: «В работе были сопоставлены особенности размола древесины различных пород Северо-Западного региона нашей страны.... бук; дуб; лиственница; ольха; сосна» при этом не исследованы такие породы как осина, береза, ель, на чью долю приходится большая часть заготовок в Северо-Западном регионе РФ.

2) Не представлена общая характеристика древесного сырья, использованного в эксперименте. Кроме породы древесины, следовало указать влажность, насыпную плотность и фракционный состав.

3) Не представлены параметры гарнитуры мельницы, использованной в эксперименте для получения древесной муки.

4) В качестве результата работы автор приводит патент РФ на полезную модель на разработанную им конструкцию пикнометра. Однако, в работе не представлено экспериментальных данных, полученных с применением этого

пикнометра, сведений о насыпной плотности исследованных материалов и ее изменении при их размоле не представлено.

5) Описанная на стр. 70 диссертации методика определения насыпной плотности разработана автором для гидрофобных или гидрофильных порошков? И есть ли влияние гидрофильности материала на результат определения насыпной плотности?

6) На рис. 3.12, где представлена зависимость удельных затрат энергии на размол от размеров частиц, три зависимости имеют явно нефункциональный характер, что некорректно, поскольку нельзя однозначно определить расход энергии при определенном размере частиц.

7) При аппроксимации экспериментальных данных таблица 3.1 и 3.2, автор использует разные виды зависимостей (экспоненциальная, степенная, линейная, полиномиальная). Это не совсем корректно, поскольку для изменения вида зависимости должны существовать объективные физические причины, которые автором не приводятся.

8) В п.3.5.2, где представлены результаты испытаний полученных образцов на сжатие, не корректно использован термин «сдавливание».

9) В тексте диссертации встречаются систематические орфографические ошибки в словах и терминах, например, «полиуритан», «водопоглащение», и др.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертационная работа Евдокимова Н.В. является законченной научно-квалификационной работой, обладает научной новизной и практической значимостью и представляет собой завершенное исследование, выполненное на достаточном научном уровне. Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы подтверждается 8 публикациями автора, и представлением результатов диссертационного исследования на научных мероприятиях.

Высказанные замечания не снижают научной ценности выполненной работы. Автореферат и опубликованные статьи в полной мере отражают ее основное содержание. Содержание работы соответствует заявленной специальности. Актуальность темы, степень обоснованности выводов и научных положений работы, достоверность и новизна результатов позволяют заключить, что диссертация Евдокимова Николая Викторовича «Технология подготовки композита на основе древесины для послойного формования изделий», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержатся важные технологические решения для лесопромышленного комплекса в области разработки высокоэффективных технологий переработки древесных отходов в ценные продукты за счет использования древесины в компонентах 3D печати.

Диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней»(Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. ред. от 01.10.2018г., с изм. от 26.05.2020), предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор Евдокимов Николай Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины.

Диссертация Евдокимова Н.В. рассмотрена на заседании кафедры целлюлозно-бумажных и лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (протокол №2 от 07.02.2024).

Отзыв составил:

Заведующий кафедрой ЦБиЛХП,
кандидат технических наук (специальность 05.21.03),доцент

Щербак Н.В.

Щербак Наталья Владимировна, заведующий кафедрой
целлюлозно-бумажных и лесохимических производств
163002, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, 17
Тел. (8182) 95 00 92; +7 911 591 45 26E-mail: n.sisoeva@narfu.ru