

ОТЗЫВ

официального оппонента, докт. техн. наук, доцента
Титунина Андрея Александровича на диссертационную работу
Аникеевой Ксении Геннадьевны на тему «Озонирование древесного
наполнителя в производстве композиционных материалов с матрицей из
термопластичных полимеров», 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 выполненной работы

Актуальность диссертационной работы Аникеевой Ксении Геннадьевны обусловлена наличием в России четвертой части мировых запасов древесного сырья, пригодного для получения более 30 тыс. наименований продукции, при производстве которой неизбежно образуются различные отходы. Эти отходы при условии вовлечения во вторичную переработку могут значительно снизить углеродный след получаемой продукции, способствуя решению проблемы экологии и сбережения здоровья граждан. По мнению многих специалистов, одним из перспективных направлений переработки древесных отходов является производство композиционных материалов, спрос на которые постоянно растет. Несмотря на многолетний опыт получения композиционных материалов, совершенствование технологии их получения на основе новых знаний о физической и химической природе взаимодействия термопластичной матрицы и мелкодисперсного древесного наполнителя остается актуальным направлением научных исследований для отечественных и зарубежных ученых. В своей работе Аникеева К.Г. представила научное обоснование технологии озонирования мелкодисперсных древесных отходов переработки березового сырья как безопасного и энергоэффективного метода модификации при производстве древеснополимерных композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами, что характеризует выполненное исследование как актуальное и значимое для отрасли.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертационная работа Аникеевой Ксении Геннадьевны на тему
«Озонирование древесного наполнителя в производстве композиционных

материалов с матрицей из термопластичных полимеров» является логически завершенной, по своей сути и содержанию представляет очередной этап комплекса исследований, выполняемых на протяжении многих лет в Казанском национальном исследовательском технологическом университете в области модификации древесины и получения на ее основе композиционных материалов различного назначения. Диссертационная работа Аникеевой К. Г. содержит все необходимые для кандидатских диссертаций элементы, объединенные единой целью и включающие теоретические и экспериментальные исследования, выполненные на базе имеющихся представлений о процессах межфазного взаимодействия в композитах и дополненные новыми данными о влиянии озонирования на основные физико-механические свойства древесно-полимерных материалов. По структуре диссертация включает введение, пять глав, заключение, список литературы и приложения. Основное содержание изложено на 148 страницах печатного текста, включает 71 рисунок и 9 таблиц. Библиографический список включает 109 источников, в том числе 44 наименования работ на иностранных языках.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, анализируется степень изученности темы, формируются цель и задачи работы, раскрывается методологическая, теоретическая, эмпирическая базы исследования, показана значимость работы в решении ряда проблем создания древесно-полимерных композитов и продуктов на их основе, отражены вопросы апробации и практической реализации результатов выполненных теоретических и экспериментальных исследований.

В первой главе представлены сведения о ресурсах древесного сырья Республики Татарстан и имеющейся проблеме их эффективного использования. Эта информация систематизирована и представлена в виде итоговой структурной схемы. Проведен обзор исследований в области применения древесных отходов в производстве древесно-полимерных композитов, акцентировано внимание на необходимости предварительной модификации древесных отходов. Следует отметить, что информационный

поиск положительно характеризуется по глубине (с 1987 по 2025 гг.) и по географии охвата. На основе анализа известных способов модификации древесины выдвинута научная гипотеза о том, что получение древесно-полимерных композитов с высокими показателями физико-механических свойств при соблюдении требований экологичности и экономической целесообразности новой технологии обеспечивается в результате предварительного озонирования мелкодисперсных древесных частиц, способствующего образованию на поверхности древесины карбонильных и карбоксильных функциональных групп, которые активно взаимодействуют на молекулярном уровне с материалом матрицы. При этом рост показателей эксплуатационных свойств зависит от вида полимерной матрицы, состава композита, технологических режимов предварительного озонирования. Также в этой главе приведены результаты информационного поиска по вопросу применения в производстве композитов полимерных материалов, обоснован выбор полимерных матриц для дальнейших исследований и сделан логически верный вывод о необходимости проведения теоретических и экспериментальных исследований влияния озонирования, как метода модификации, на формирование прочных адгезионных связей в системе «древесные частицы – полимерная матрица» и на показатели основных эксплуатационных свойств готового продукта.

Во второй главе рассмотрены вопросы влияния озонирования на изменение структурного химического состава поверхностного слоя древесных частиц. Не ограничиваясь теоретическими изысканиями, выполненными в соответствии с фундаментальными представлениями о ходе химических реакций взаимодействия озона с молекулами целлюлозы, лигнина и гемицеллюлозы, автор работы выполнила комплекс экспериментальных исследований влияния продолжительности обработки древесины озоном на показатели ее гидрофильности. Для оценки гидрофильности вполне обоснованно Аникеева К.Г. использовала метод определения краевого угла смачивания после обработки листов шпона в серийно выпускаемой озоновой

камере OZ-0500AC. Как исследователь, она вполне обоснованно распространила полученные результаты о влиянии продолжительности озонирования на гидрофильность другого вида материала – древесной муки. Для подтверждения верности данного умозаключения, соискатель изготовила и использовала в ходе экспериментов лабораторную установку по озонированию древесной муки. Окончательный вывод об изменении состава химических компонентов в обработанном озоном материале и интенсивности окислительного воздействия на лигноцеллюлозный комплекс древесины Аникеева К.Г. сделал по результатам ИК-спектроскопии. В ходе обработки результатов этого блока исследований автором определена константа скорости химической реакции, которая характеризует скорость образования связей C=O. Положительным моментом является то, что автор впервые экспериментально подтвердила и описала в виде аналитических уравнений зависимости краевого угла смачивания от дозы озонирования и от количества образовавшихся C=O групп.

В третьей главе представлена разработанная автором математическая модель процесса озонирования древесной муки в псевдооживленном слое. Процесс при этом рассматривается на макроуровне – анализируется распределение скоростей газового потока, структура фазового контакта, режимы и характер перемешивания частиц; а также на молекулярном уровне при изучении взаимодействии озонородной смеси с отдельной частицей. В этой главе представлена схема установки для сушки и озонирования мелкодисперсных древесных отходов, описаны принятые при разработке математической модели допущения, приведено описание модели процесса совмещенного озонирования и сушки древесных частиц озонирования в виде системы дифференциальных уравнений. Для численного решения этой системы уравнений на основе метода конечных разностей представлена блок-схема алгоритма. Результаты моделирования, выполненного в среде Visual Basic for Application, представлены в третьей главе в виде графиков, позволяющих получить наглядное представление о динамике и кинетике

процесса озонирования древесного наполнителя для двух влажностных состояний – сухого и влажного.

Соискатель провела детальный анализ процесса озонирования и пришла к выводу, что эффективность предлагаемого метода модификации в значительной мере зависит от исходной влажности древесной муки, в частности, доказано, что при наличии влаги в древесных частицах количество карбонильных групп снижается по сравнению с озонированием сухого материала на 35%. На основании этого предложено при обработке влажного материала вначале проводить его сушку, а уже потом – озонирование при контролируемых параметрах температуры, концентрации озона и продолжительности обработки с целью достижения требуемой степени окисления поверхности древесных частиц и их гидрофильности. В итоге это позволит получать композиционный материал с требуемыми механическими характеристиками.

В четвертой главе, вполне логично по структуре, продемонстрированы результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств древесно-полимерных композитных материалов на основе полигидроксibuтирата (ПГБ), термопластичного крахмала (ТПК) и полиэтилена высокого давления (ПЭВД), как одного из самых распространенных видов матрицы при производстве древесно-полимерных композитов. Автор, в связи с ограниченной доступностью ТПК, решает вопрос его синтеза методом термомеханической пластификации и по результатам выполненных исследований приводит рекомендации по рациональным режимам синтеза – содержание глицерина 30 мас. %, температура 140 °С, а также определяет основные его характеристики. Далее в работе приводятся результаты методически правильно спланированных и проведенных многочисленных опытов по исследованию плотности и прочностных свойств древесно-полимерных композитов, которые изготавливались в лабораторных условиях с использованием всех трех видов материала матрицы и пяти вариантах структурного состава композитов. При этом наполнитель в каждой

серии опытов подвергался термической модификации, озонированию и комбинированной обработке; результаты сравнивались с образцами на древесной муке без какой-либо обработки. Интерпретация полученных результатов приведена в тексте диссертации в графическом виде и сопровождается необходимыми выводами, анализом и рекомендациями. Основным итогом этого блока многочисленных опытов является вывод о положительном влиянии озонирования древесного наполнителя на эксплуатационные свойства композита, что подтверждает верность выдвинутой гипотезы о целесообразности применения данного метода модификации. В заключительной части четвертой главы даны рекомендации по промышленному использованию каждого из трех видов древесно-полимерных композитов.

В пятой главе даны рекомендации к промышленному использованию разработанного метода модификации при производстве из термопластичного крахмала и предварительно озонированной березовой древесной муки биоразлагаемых контейнеров для выращивания рассады с закрытой корневой системой. Экономическими расчетами подтверждена эффективность производства.

В заключении диссертационной работы сформулированы основные выводы по итогам теоретических и экспериментальных исследований. Выводы полностью соответствуют поставленным задачам, подтверждают целесообразность практического применения озонирования как эффективного метода модификации древесного наполнителя в производстве древесно-полимерных композитов и отражают достигнутые соискателем результаты по решению проблемы недостаточного межфазного взаимодействия наполнителя и матрицы.

В приложениях к диссертационной работе представлены акт внедрения, дипломы победителя конкурсов «ТехноСтарт», «50 лучших инновационных идей для Республики Татарстан» и «Студенческий стартап».

Степень разработанности темы исследования

Вопросами модификации древесного сырья, а также процессами

получения композитов на их основе занимаются как отечественные, так и зарубежные ученые. Среди методов модификации в большей мере требованиям экологичности и низкой энергоемкости соответствует озонирование, однако в части повышения гидрофильности поверхности древесных частиц, как одного из условий обеспечения высокой степени межфазного взаимодействия, остается еще много нерешенных вопросов. В частности, требуют изучения вопросы взаимосвязи режимов озонирования с количеством активных группировок на поверхности древесины и в конечном итоге с прочностными свойствами древесно-полимерных композитов. Поэтому работа Аникеевой К.Г. является дальнейшим развитием ранее выполненных исследований, существенно дополняет и расширяет имеющиеся представления о физическом и химическом механизме поверхностной модификации древесных частиц, тем самым вносит весомый вклад в развитие технических областей науки.

Научная новизна исследований и полученных результатов

Аникеева К.Г. выносит на защиту научно-обоснованные технические и технологические решения, которые обеспечивают повышение эффективности использования древесных отходов лиственных пород при производстве древесно-полимерных композитов в результате применения предварительной поверхностной модификации древесных частиц методом озонирования. Среди результатов, обладающих научной новизной, особо следует отметить, что впервые озонирование предложено как метод модификации мелкодисперсного древесного сырья при получении композиционных материалов на основе термопластичных полимеров. Выявлена функциональная зависимость между режимами озонирования и показателем степени межфазного взаимодействия в системе «матрица-наполнитель». Впервые получены аналитические зависимости краевого угла смачивания от дозы озонирования и влажности древесины. Разработано математическое описание, позволяющее прогнозировать количественные результаты поверхностного озонирования древесины. Получены новые знания о процессе синтеза термопластичного крахмала в зависимости от содержания глицерина и температуры процесса,

определены значения показателей основных свойств готового продукта. Впервые выполнен комплекс исследований физико-механических свойств древесно-полимерных композитов с варьируемым составом компонентов на основе трёх типов полимерных матриц и древесного наполнителя, модифицированного тремя способами. Доказано положительное влияние озонирования на прирост плотности и пределов прочности при растяжении и изгибе во всех системах.

Степень обоснованности, достоверности и апробации результатов

Научные положения, выводы и практические рекомендации, сформулированные в диссертации Аникеевой К.Г., обоснованы, так как базируются на фундаментальных представлениях о химическом взаимодействии озона с лигно-углеводным комплексом древесины и о процессе структурообразования древесно-полимерных композитов, а также значительном экспериментальном материале, полученном с использованием современного оборудования, методов математического моделирования. Соискатель использовала различные методы исследований, в том числе физико-химические, при этом полученные результаты вполне согласуются с результатами исследований других авторов в данной научной области. Положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, подкреплены фактическими данными и наглядно представлены в приведенных таблицах и рисунках.

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается требуемым уровнем сопоставимости с результатами других исследователей, применением современных средств научных исследований; удовлетворительной сходимостью результатов теоретических расчетов с данными, полученными экспериментальным путем.

Основные результаты диссертационной работы изложены в 19 публикациях, из них 6 статей в рецензируемых научных изданиях из Перечня ВАК, 4 статей, индексируемых в системе Scopus, 9 работ в прочих изданиях. Результаты диссертационной работы апробированы на всероссийских и

международных научно-практических конференциях.

Теоретическая и практическая значимость работы

В результате проведенных исследований разработана математическая модель процесса озонирования измельчённой древесины в условиях псевдооживленного слоя, позволяющая количественно описывать взаимосвязь между параметрами древесного сырья, параметрами озонирования и изменением краевого угла смачивания. Практическая значимость работы заключается в создании готовой к масштабированию инновационной технологии предварительной обработки мелкодисперсных отходов древесины берёзы методом озонирования с целью поверхностной активации и увеличения межфазного взаимодействия. На основе предложенной методики разработан композитный материал, предназначенный для изготовления одноразовых емкостей для посадки растений с регулируемой скоростью биоразложения. Подтверждена целесообразность применения древесно-полимерного композита на основе 70 мас. % термопластичного крахмала и 30 мас. % озонированной берёзовой муки в качестве материала для изготовления биоразлагаемых контейнеров. Установлена зависимость скорости биоразложения от дозы озонирования: при воздействии озона в дозе 0,02 кг·с/м³ материал теряет до 80,2 % массы за 90 суток в условиях компостирования. Предложенная технология производства биоразлагаемых контейнеров внедрена на ООО «НТЦ «Биополимер» (г. Ессентуки).

Соответствие паспорту специальности

Диссертационная работа и автореферат соответствуют паспорту научной специальности 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины: п. 3. «Теория и методы воздействия техники и технологий на лесную среду в процессе лесовыращивания, заготовки и переработки древесного сырья»; п. 4. «Технология и продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном,

деревобрабатывающем, целлюлозно-бумажном, лесопильном, лесохимическом и сопутствующих им производствах».

Вопросы и замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе Аникеевой К.Г. имеются замечания и вопросы, требующие пояснений.

1. В положениях, выносимых на защиту, (с.10, п.1) вместо «Технология предобработки измельченного древесного сырья...» правильнее было бы написать «Технология предобработки мелкодисперсного древесного сырья...»

2. В разделе 1.1 первой главы диссертации следовало бы привести данные об объемах отходов березы, которые потенциально возможно переработать в древесную муку и использовать для производства древесно-полимерных композитов.

3. Вывод, сделанный в разделе 2.2 второй главы о влиянии продолжительности озонирования древесной муки на снижение краевого угла смачивания, требует более четкого обоснования, так как определялся угол смачивания при нанесении капли воды на поверхность шпона.

4. Диссертация смотрелась бы еще выгоднее, если бы соискатель при разработке математической модели процесса озонирования древесины обосновала скорость движения воздуха с точки зрения теории движения частицы в воздушном потоке. В качестве одного из технологических режимов работы установки следовало бы представить такие параметры как рекомендуемая скорость подаваемого озонированного воздуха, а также производительность установки.

5. Вывод, что «озонирование оказывает наиболее выраженный положительный эффект на уплотнение структуры композитов независимо от природы матрицы» (с.100) представляется не столь однозначным. В частности, анализ зависимости плотности ДПК от метода обработки наполнителя и состава композита (рис.4.10-4.12) с учетом исходной плотности компонентов требует более детального изучения и объяснения: почему, например, при соотношении 70М/30П в композите с ПЭВД плотность возросла с $1,02 \text{ г/см}^3$ до

1,22 г/см³ (или на 19,6%), в композите с ПГБ – с 1,17 г/см³ до 1,3 г/см³ (или на 11,1%), а в композите с ТПК – с 1,22 г/см³ до 1,36 г/см³ (или на 11,5%).

6. При разработке рекомендаций по составу композитов соискателю следует использовать термин «рациональный», а не «оптимальный», поскольку оптимизация предполагает наличие целевой функции и формализованный процесс поиска наилучшего решения в заданных условиях с учетом имеющихся ограничений.

7. В пятой главе, разделе 5.3 с точки зрения потребителя уместно было бы представить расчеты в сравнении с торфяными горшочками (стаканчиками).

Заключение

Указанные выше замечания не влияют на общее впечатление о работе и ценность основных положений и выводов, приведенных в диссертации.

Диссертационная работа Аникеевой Ксении Геннадьевны является законченной научно-квалификационной работой, результаты которой обладают научной новизной, имеют теоретическое и прикладное значение; в ней изложено новое научно-обоснованное решение задачи повышения эффективности использования мелкодисперсных древесных березовых отходов путем их предварительной модификации озонированием в составе технологического процесса производства древеснополимерных композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами, что вносит существенный вклад в экономику и развитие отечественной деревоперерабатывающей промышленности.

Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемые к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автореферат по структуре и по изложению полученных результатов соответствует диссертации. Выводы соответствуют полученным результатам.

Считаю, что диссертационная работа Аникеевой Ксении Геннадьевны на тему «Озонирование древесного наполнителя в производстве композиционных

материалов с матрицей из термопластичных полимеров» соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата наук, изложенным в п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в текущей редакции), а её автор 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 (05.23.05 – Строительные материалы и изделия), доцент, заведующий кафедрой лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромской государственный университет»



Титунин
Андрей
Александрович

«14» мая 2026 г.

Адрес: 156005, г. Кострома, ул. Дзержинского, д. 17/11, ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет».

Тел. +7(4942) 63-49-00 (доб. 8320).

E-mail: a_titunin@kosgos.ru.

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <https://kosgos.ru/>



14.05.2026

Вход. № 05-8954
«26» 05 2026 г.
подпись _____