

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

**Горбачева Александра Вячеславовича** на тему

«Влияние модификации рисовой шелухи в условиях высокосдвиговой деформации на физико-механические и эксплуатационные свойства композиционного материала на основе полипропилена», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов

Актуальность исследования. В настоящее время наблюдается устойчивый научный и практический интерес к термопластичным полимерным композитам, наполненным растительными компонентами. Это обусловлено комплексом ценных свойств таких материалов: невысокая плотность, низкая себестоимость, снижение абразивного износа перерабатывающего оборудования, нетоксичность, биоразлагаемость и возобновляемость используемого сырья.

Одним из наиболее доступных и крупнотоннажных видов растительного сырья является рисовая шелуха – отход рисового производства, накопление которого создает значительную экологическую нагрузку. Перспективным направлением утилизации рисовой шелухи выступает ее применение в качестве наполнителя полипропиленовых композитов.

Ключевой проблемой, ограничивающей широкое внедрение таких материалов, является термодинамическая несовместимость неполярного полипропилена и полярной рисовой шелухи, что приводит к ухудшению физико-механических свойств композитов. В связи с этим, исследования, направленные на разработку эффективных способов модификации поверхности растительного наполнителя и подбор совмещающих агентов, имеют высокую теоретическую и практическую значимость. Это подтверждает актуальность диссертационной

работы Горбачева А.В., направленной на разработку полимерных композиционных материалов на основе полипропилена и модифицированной рисовой шелухи в условиях высокосдвиговых деформаций.

Научная новизна работы. В диссертационной работе впервые применена обработка рисовой шелухи в режиме высокосдвиговых деформаций. Автором выявлено, что данная обработка инициирует механическую трансформацию природной лигноцеллюлозной матрицы, выражающуюся в деструкции органоминерального поверхностного слоя и образовании высокоразвитой пористой рельефной структуры на поверхности наполнителя. Доказано, что воздействие высокосдвиговых деформаций способствует активации процессов ферментативной и щелочной модификации вследствие возникновения структурных несовершенств, что облегчает транспорт реагентов во внутренние зоны растительного волокна. Обнаружено, что совмещение ферментативной обработки с высокосдвиговым воздействием обеспечивает механохимическую активацию биокаталитических реакций, переводя процесс из диффузионно-лимитируемой области в кинетически контролируемую, что позволяет сократить длительность обработки без нарушения целостности целлюлозного остова. Установлена количественная взаимосвязь между величиной полярной компоненты свободной поверхностной энергии исследуемых композитов и их физико-механическими показателями. Данная зависимость открывает возможность использования энергетических параметров поверхности в качестве объективного измерителя качества межфазного взаимодействия и служит научной базой для проектирования составов композиционных материалов. Разработан оригинальный композит на основе полипропилена, наполненный ферментативно модифицированной рисовой шелухой, прошедшей высокосдвиговую обработку. Полученный материал демонстрирует повышенную межфазную адгезию и улучшенный комплекс эксплуатационных и технологических характеристик: прирост прочности при растяжении – 24 %, при изгибе – 21 %, ударной вязкости – до 108 %, относительного удлинения – 48 %, показателя текучести расплава – 22 % при стабильных значениях модуля упругости и плотности.

Теоретическая значимость работы. В диссертации раскрыты механизмы, лежащие в основе механохимической и ферментативной модификации рисовой шелухи в условиях высокосдвиговых деформаций. Теоретически обосновано, как именно структурная перестройка поверхности наполнителя влияет на усиление адгезионных взаимодействий с полипропиленовой матрицей. Выявленные корреляции между поверхностными энергетическими параметрами и физико-механическими свойствами композитов вносят вклад в развитие теоретических представлений о рецептурном проектировании полимерных композиционных систем с возобновляемыми растительными наполнителями.

Практическая значимость работы. Практическую ценность диссертационного исследования подтверждают разработанные автором рецептуры полимерных композитов на базе полипропилена, наполненного ферментативно модифицированной рисовой шелухой. Подобран оптимальный состав, включающий совмещающую добавку, смазку и стабилизатор, что гарантирует стабильность реологических свойств расплава и технологическую воспроизводимость при экструзии и литье под давлением. По результатам работы была выпущена опытная партия композиционного материала, прошедшая успешные испытания в условиях ООО «Строительные Инновации Групп» (г. Казань, Республика Татарстан), о чём свидетельствует технический акт внедрения от 12.03.2026 г. Особо следует отметить, что новизна и практическая значимость диссертации подкреплены патентом на изобретение № 2835429 от 25.02.2025 г. «Состав полимерного композиционного материала». Разработанный композит рекомендован для производства строительных профилей, облицовочных панелей, террасных досок и других изделий, эксплуатируемых в наружных условиях. Применение материала позволяет снизить долю полимерной матрицы за счёт введения возобновляемого растительного наполнителя, а также повысить долговечность конечных изделий благодаря улучшенным ударным и прочностным показателям.

Структура и содержание работы. Диссертационная работа Горбачева Александра Вячеславовича изложена на 145 страницах и состоит из введения,

5 глав, заключения, выводов и списка литературы из 125 наименований. Диссертация содержит 34 рисунка, 45 таблиц. Основные положения диссертации изложены в 6 статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах, из которых 3 статьи в журналах, входящих в перечень Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации, 2 статьи в зарубежных журналах, реферируемых в базах данных Scopus, и 13 тезисах докладов на международных и всероссийских конференциях. Публикации в достаточной мере отражают содержание диссертации и автореферата. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Аналитическая часть (Глава 1) содержит классификацию полимерных композитов, наполненных растительными компонентами. В ней проанализировано текущее состояние рынка древесно-полимерных материалов как в России, так и за рубежом. Подробно разобран химический состав различных типов растительных наполнителей и то, как он влияет на рабочие и технологические качества полимеров. Отдельно рассмотрены современные методы модификации таких наполнителей. Автор делает акцент на перспективности щелочной и ферментативной обработки растительного сырья в режиме высоких сдвиговых деформаций для создания полимерных композитов. Изучение научной литературы позволило сформулировать общую научную концепцию, а также цели и задачи, решаемые в рамках диссертации.

Вторая глава, посвященная объектам и методикам, описывает лабораторное оснащение, используемое сырье и методы анализа. Среди них: оценка физико-механических параметров (растяжение, изгиб, ударная вязкость), реологических свойств и теплофизических характеристик (термогравиметрия, дифференциальный термический анализ, ДСК). Также автор раскрывает методики структурного анализа, расчета свободной поверхностной энергии, процесс смешения компонентов в двухшнековом экструдере и получение композитов литьем под давлением. Эксперименты проведены на специализированном оборудовании в строгом соответствии с ГОСТ, что гарантирует достоверность данных и обоснованность выводов.

В третьей главе исследовано, как размер частиц и дозировка рисовой шелухи влияют на свойства композитов с полипропиленовой матрицей. А.В. Горбачев детально изучил воздействие фракционного состава шелухи на физико-механические, теплофизические и реологические характеристики образцов. Выяснено, что фракция мельче 200 мкм дает наилучшие упруго-прочностные показатели. Добавление 50% наполнителя снижает прочность и пластичность, но повышает жесткость и термостабильность, а также уменьшает показатель текучести расплава. Кроме того, с ростом содержания шелухи увеличивается водопоглощение, что ведет к падению модуля упругости и прочности при разрыве.

Четвертая глава посвящена модификации рисовой шелухи в условиях высокосдвиговых деформаций. Автор определяет оптимальные параметры такой обработки, а также режимы ферментативной и щелочной модификации. Оптимальным признан режим: скорость вращения роторов 90 об/мин при температуре не выше 60 °С, что хорошо согласуется с достигнутыми физико-механическими свойствами композитов. Для ферментативной обработки выбраны два препарата Allzyme Vegpro и Ренозим VP в дозировках 0,01-0,5 мас.%. Щелочная обработка проводилась водным раствором NaOH (2-10 мас.%) с последующей промывкой до нейтрального pH и сушкой. В главе приведен сравнительный анализ свойств композитов с модифицированной и немодифицированной шелухой.

В пятой главе разрабатывается рецептура композита на основе полипропилена и рисовой шелухи, обработанной ферментным препаратом, с целью достижения оптимального баланса технологических, эксплуатационных и реологических характеристик. Также представлено технико-экономическое обоснование применения такого подхода.

Диссертация содержит достаточное число таблиц и графиков, подтверждающих достоверность экспериментальных данных. Стиль изложения в целом четкий, хотя иногда встречаются стилистические погрешности, не мешающие восприятию. Выводы продуманы и логично вытекают из полученных

результатов. Работа написана ясно, с использованием общепринятой терминологии, и производит хорошее впечатление.

Автореферат отражает основное содержание диссертационной работы. Основное содержание работы опубликовано. Публикации отвечают требованиям ВАК.

Достоверность результатов обеспечена применением современных экспериментальных методов исследования свойств полимерных композитов. Полученные данные хорошо согласуются с литературными, что также свидетельствует об их высоком качестве.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций. Основные выводы базируются на надежных экспериментальных результатах, полученных с помощью современных методов физико-механического, реологического и теплофизического анализа. В связи с этим они не вызывают сомнений и заслуживают признания достоверными.

По работе имеется ряд **замечаний и вопросов**:

1. В работе в качестве основной выбрана дозировка наполнителя 50 мас.% при более высоких прочностных показателях для рецептуры с 30 мас.%. Не представлено технико-экономическое сравнение этих двух степеней наполнения.

2. Автор объясняет изменение свойств композитов механохимическим действием высокосдвиговой деформации, однако в работе отсутствуют данные о химическом составе поверхности или молекулярной массе целлюлозы после обработки.

3. Не проведён контрольный эксперимент с инактивированным ферментом, что не позволяет разделить вклад механического диспергирования и ферментативного гидролиза в улучшение свойств.

4. При щелочной обработке почти полностью удалён кремнезем, однако модуль упругости при изгибе не снизился, а вырос. Как автор объясняет этот эффект?

5. Введение смазки Struktol RP11 в дозировке 0,3 мас. % повысило ПТР на 104 %, но снизило ударную вязкость на 13 %. Почему не рассматривалась меньшая дозировка?

6. Техничко-экономический расчёт включает затраты на фермент, нагрев и воду, но не учитывает сушку рисовой шелухи после модификации в водной среде.

7. Не представлены данные о воспроизводимости режима ВСД при переходе к полупромышленному выпуску и о влиянии разных партий сырья (особенно рисовой шелухи).

Перечисленные замечания не уменьшают значимости работы и не снижают положительную оценку диссертации в целом.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что диссертационная работа Горбачева Александра Вячеславовича «Влияние модификации рисовой шелухи в условиях высокосдвиговой деформации на физико-механические и эксплуатационные свойства композиционного материала на основе полипропилена» представляет собой научно-квалификационную работу, выполненную автором самостоятельно, в которой содержится решение научно-практической задачи по созданию многокомпонентных полимерных композитов, частично подверженных разложению под действием окружающей среды, имеющей значение для химии и технологии высокомолекулярных соединений, а также изложены научно обоснованные технологические решения переработки вторичных термопластичных полимеров, содержащих растительный наполнитель, имеющих существенное значение для снижения антропогенного влияния на экологию.

Представленная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует критериям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Горбачев Александр Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени


кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Официальный оппонент:

**Шкуро Алексей Евгеньевич**, доктор технических наук (4.3.4. – Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины), доцент, профессор кафедры технологий ЦБП и переработки полимеров федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет»

**ВЕРНО**  
Ведущий специалист по кадрам  
Кадрово-правового управления

Подлинник документа находится  
в ФГБОУ ВО «УГЛТУ»



/Алексей Евгеньевич Шкуро

Контактные данные:



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет», Химико-технологический институт, кафедра Технологий ЦБП и переработки полимеров.

620100, Россия, Свердловская область,

г. Екатеринбург, Сибирский тракт, дом 37,

Телефон: +7(965)5175736, e-mail: zj@weburg.me

Вход. № 05-8979  
« 01 » 06 20 26 г.  
подпись 