

Эффективность применения предварительной обработки древесного наполнителя в производстве древесно-цементной композиции

Э.Р. Хайруллина^a, Р.Г. Сафин^b, Д.В. Тунцев^c

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, Казань, Республика Татарстан, Россия

^a endzhe_31@mail.ru, ^b safin@mail.ru, ^c tuncev_d@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-7202-2688>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-5790-4532>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-1842-5771>

Статья поступила 26.08.2021, принята 16.09.2021

В статье исследован вопрос об эффективности применения предварительной обработки древесного наполнителя для производства древесно-цементной композиции. Рассмотрена необходимость в современных композиционных материалах. Разработана технология переработки низкокачественной древесины мягколиственных пород, предназначенных для производства композиционных материалов на основе древесного волокна и магнезиально-вяжущих веществ. Представлен анализ выбора в качестве исходного сырья древесины мягколиственных пород, а также метод предварительной модификации древесного наполнителя для дальнейшего использования в производстве композиционного материала. В статье сравниваются два метода модификаций, а именно исследуется влияние предварительной термомодификации и предварительной пропитки водным раствором карбамида древесного наполнителя на свойства полученного материала. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния технологических факторов на прочностные и эксплуатационные показатели древесно-композиционного материала на основе минеральных вяжущих веществ при варьировании структуры композиции и способов обработки. При сравнении композиционного материала, полученного с предварительно обработанным наполнителем и с фибролитовыми плитами, технология производства которых соответствует ГОСТ 8928–81, установлено, что прочностные показатели на сжатие и прочностные показатели на изгиб, а также показатели водопоглощения разработанного композиционного материала выше, следовательно, необходимость предварительной обработки древесного наполнителя для повышения эксплуатационных характеристик материала является обоснованной. Экспериментальные исследования отражают, что в качестве такой обработки наиболее рационально использование пропитки древесной шерсти водным раствором карбамида. Целесообразность использования древесины мягколиственных пород в качестве древесного наполнителя доказана экспериментальными исследованиями и сравнением с аналогичным материалом.

Ключевые слова: мягколиственные породы древесины; композиционный материал; древесный наполнитель; модификация древесного наполнителя; технология.

The effectiveness of the use of wood filler pretreatment in the production of wood-cement composition

E.R. Khairullina^a, R.G. Safin^b, D.V. Tuntsev^c

Kazan National Research Technological University; 68, Karl Marx St., Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

^a endzhe_31@mail.ru, ^b safin@mail.ru, ^c tuncev_d@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-7202-2688>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-5790-4532>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-1842-5771>

Received 26.08.2021, accepted 16.09.2021

The article examines the issue of the effectiveness of the use of pretreatment of wood filler for the production of wood-cement composition. The necessity of modern composite materials is considered. A technology for processing low-quality soft-leaved wood intended for the production of composite materials based on wood fiber and magnesia-binding substances has been developed. The analysis of the choice of soft-leaved wood as a raw material, as well as the method of preliminary modification of wood filler for further use in the production of composite material is presented. The article compares two methods of modifications, namely, the effects of preliminary thermal modification and preliminary impregnation with an aqueous solution of urea of wood filler on the properties of the resulting material are investigated. The paper presents the results of experimental studies of the influence of technological factors on the strength and performance indicators of wood-composite material based on mineral binders when varying the structure of the composition and processing methods. When comparing the composite material obtained with a pre-treated filler and with fibrolite plates, the production technology of which corresponds to GOST 8928-81, it was found that the compressive strength and bending strength indicators, as well as water absorption indicators of the developed composite material are higher, therefore, the need for pre-processing of wood filler to improve the performance characteristics of the material is justified. Experimental studies reflect that as

such a treatment, the most rational use of impregnation of wood wool with an aqueous solution of urea is. The expediency of using soft-leaved wood as a wood filler has been proved by experimental studies and comparison with a similar material.

Keywords: soft-leaved wood species; composite material; wood filler; modification of wood filler; technology.

Введение. На сегодняшний день вопрос использования в производстве строительных материалов древесных вторичных ресурсов в процессе развития строительной отрасли приобретает особую роль. Проблема поиска эффективных решений по созданию современных конструкционных и изоляционных материалов с передовыми требованиями надежности, прочности и экономически конкурентоспособными ценовыми характеристиками не теряет свою актуальность, несмотря на многообразие представленных на рынке строительных материалов российских и зарубежных производителей [1].

В России, по сравнению с другими странами, кроме значительного лесного фонда, есть широко развитая структура лесопромышленного комплекса, которая вызывает ряд вопросов, связанных с переработкой отходов деревообрабатывающих предприятий и лесозаготовительных производств [2–5]. Истощение ресурсов хвойной древесины, а также экологическая составляющая в мире ставит перед промышленностью вопрос более широкого вовлечения мягколиственной древесины в переработку [5–7].

Несмотря на то, что Россия считается богатейшей лесной державой, резервы значимых пород, таких как дуб, ясень, бук составляют меньше 1 % по отношению ко всему объему произрастающей древесины. Именно в связи с этим сегодня остро стоит вопрос создания новых производств для переработки древесины мягколиственных пород с целью замены хвойных пород древесины, так как именно их используют в первую очередь в качестве наполнителя в композиционных материалах [8].

Практическое применение отходов лесопиления и лесозаготовки в производстве строительных композиционных материалов позволяет организовать процесс глубокой переработки древесины путем создания малоотходных производств и решает проблему утилизации отходов [9]. Продукцией таких предприятий являются конструкционные и изоляционные материалы из древесно-цементной композиции [10].

Постановка и решение задачи. В Казанском национальном исследовательском технологическом университете, на кафедре переработки древесных материалов была разработана технология переработки низкокачественной древесины мягколиственных пород при производстве композиционного материала [11].

Технологический процесс получения композиционного материала из древесной шерсти и магнизиально-вяжущего вещества можно разделить на следующие этапы.

1-й этап. Подготовка наполнителя.

Для получения композиционного материала в качестве наполнителя берутся древесные отходы мягколиственных пород в виде древесной шерсти. Основным критерием является правильный выбор размеров древесной шерсти, так как именно размер имеет большое экономическое и техническое значение при производ-

стве стеновых панелей. Такие свойства, как эластичность шерсти, прочность, качество поверхности, внешний вид и состояние кромок плит, а также дозированное укладывание однородной смеси предварительно подготовленных дисперсных сырьевых материалов, дозировка которых соответствует заданному рецепту, при формовании связаны с толщиной шерсти [12–15].

При производстве композиционных материалов из древесной шерсти и магнизиальных вяжущих может быть использована древесная шерсть двух крайних разновидностей:

а) широкая: толщина варьируется от 0,25 до 0,45 мм, ширина 4–5 мм;

б) узкая: толщина варьируется от 0,5 до 0,7 мм, ширина 1,5–2,5 мм.

Рекомендуется работать на смешанной по толщине древесной шерсти.

При этом важно, чтобы древесные частицы не имели участков плесени и гнили, а также инородных включений [16].

2-й этап. Обработка древесного сырья.

В процессе приготовления композиционной массы, включающей в себя древесную шерсть и белый цемент, в структуре массы происходят комплексные сложные процессы физико-химического характера, во время твердения белого цемента формируются компоненты, а также компоненты взаимодействия цементного теста с древесиной, которые определяют качество композиционного материала. Учитывая эти процессы, необходимо обратить внимание на особенности химического состава каждого компонента в составе композиционного материала. Во время процесса твердения древесно-цементной массы наиболее негативное воздействие из всего многообразия компонентов, которые содержатся в клетках древесины и проникают сквозь стенки клеток, оказывают легко растворимые моносахары. Наряду с дубильными веществами моносахары в клетках древесины также являются поверхностно-активными веществами по отношению к белому цементу. При введении таких веществ в цементные системы с водой в результате адсорбции и под влиянием межмолекулярных сил сцепления моносахары ориентируются вокруг цементных зерен, образуя адсорбционный слой [17]. При этом, когда покрываются такой защитной оболочкой под влиянием этих же межмолекулярных сил, частицы цемента теряют способность сцепления друг с другом. В свою очередь, образованная оболочка осложняет доступ воды к зернам цемента и отвод продуктов гидратации от них, что, в свою очередь, приводит к торможению процесса гидролиза и гидратации цемента, а при определенных концентрациях углеводов — к остановке процессов схватывания цементного теста [18]. Для осуществления цели — исключения веществ, мешающих процессу гидролиза и гидратации — прибегают к таким методам, как химическая обработка, гидротермическая обработка, которые снижают содер-

жание водорастворимых сахаров в древесине, повышают адгезионную связь между компонентами. [19]. В основу химических методов положен процесс обработки древесного наполнителя жидкими растворами сернокислого алюминия, хлорида кальция, жидкого стекла и других компонентов [20]. Предварительная гидротермическая обработка органического заполнителя заключается в процессах вымачивания, пропаривания, выдержки (естественного окисления). Однако следует отметить и недостатки данных методов модификаций, это приобретение дорогостоящих химических компонентов, что, в свою очередь, повлияет на себестоимость конечной продукции, а также длительные сроки реализации, что сразу отразится на рентабельности производства. На практике известны такие виды предварительной модификации, как термомодификация и химико-механическая обработка водным раствором карбамида.

Доказано, что термомодификация и пропитка водным раствором карбамида являются одними из наиболее эффективных методов модификаций.

Процесс термомодификации проводится без доступа кислорода, в муфельной печи, при температуре 180–220 °С в течение 2–4 ч.

Предварительная химико-механическая обработка производится следующим образом: в автоклаве осуществляется процесс пропитки древесного наполнителя водным раствором карбамида с концентрацией 30 % и температурой 24 °С в течение 4–6 ч, при давлении 0,4 МПа.

3-й этап. Подготовка связующего.

В качестве связующего используется минерально-вязущее вещество, а именно портландцемент. Портландцемент признан во всем мире как самый эффективный и доступный соединительный материал. Сырье берется советующее ГОСТ 965–89, марки М 500: разновидность портландцемента, белый цемент на основе клинкера и гипса с пределом прочности 50 МПа.

4-й этап. Минерализация наполнителя.

Минерализацию древесной шерсти осуществляют путем ее обрызгивания 30%-ным раствором стекла натриевого в количестве 10 % от массы древесного наполнителя. Для этого применяется барабанный смеситель. Влажность минерализованной шерсти составляет 140...160 %.

5-й этап. Приготовление формовочной смеси.

Вне зависимости от размера древесной шерсти существует оптимальный расход цемента, соответствующий хорошей толщине слоя цементного камня на данной поверхности ее частей. Средние значения расхода древесной шерсти, m^3 , и цемента, kg , для марки 500 составляют 0,82 и 270 соответственно, влажность консистенции — 45...50 %. Составляющие формовочной массы смешиваются в смесителе принудительного действия, обеспечивающем смешивание шерсти без уплотнения и навивания ее на вал.

6-й этап. Формование плит.

Приготовленная древесно-цементная масса распределяется загрузочным конвейером по форме и разравнивается для дальнейшей подачи в гидравлический пресс с нагревательными плитами.

Процесс формования осуществляется при давлении 0,6–0,8 МПа, с последующим твердением при темпера-

туре 150 °С в течение 8 ч. Во время данного процесса достигается заданная степень уплотнения композиционной массы. Далее, в целях исключения упругого последствия лент древесной шерсти, производится фиксация толщины. В обжатом состоянии формы с уплотненной древесно-цементной массой подаются на тепловую обработку.

7-й этап. Тепловая обработка.

Процесс тепловой обработки композиционного материала осуществляется при температуре 60 °С и относительной влажности 60...70 % в течение 4–6 ч в специальных сушилках. Влажность композиционного материала после процесса сушки не должна превышать 20 %.

Для обоснования выбора вида модификации, используемой для предварительной обработки древесного наполнителя, проведены исследования и проанализированы данные, полученные путем экспериментальных испытаний, определяющих зависимость физико-механических свойств изделия от размера наполнителя, количественного содержания в нем древесных частиц. Для улучшения качества выпускаемых плит и возможности использования в качестве наполнителя мягколиственной древесины, для улучшения взаимодействия древесных частиц и цемента исследуется применение предварительной обработки древесного наполнителя, позволяющей сократить содержание водорастворимых веществ и освобождение пор, а также улучшить взаимодействие цемента и древесного наполнителя.

Результаты. В результате проведенных экспериментальных исследований выявлены зависимости предела прочности опытных образцов на сжатие от доли и размера древесного наполнителя в композиционном материале (рис. 1).

Согласно полученным результатам определено, что с увеличением массы древесной шерсти относительно минерального связующего происходит снижение показателей предела прочности на сжатие композиционного материала. Анализируя экспериментальные образцы с использованием разного размера древесной шерсти, установлено, что разновидность древесного наполнителя по длине является фактором, влияющим на прочностные показатели композиционного материала. Анализ испытаний экспериментальных образцов композиционного материала на основе древесной шерсти длиной 10 мм показал снижение предела прочности на 0,8 МПа относительно образцов на основе древесной шерсти длиной 15 и 20 мм. При этом предел прочности на сжатие повышается на 1,0 МПа, когда используется древесный наполнитель, пропитанный водным раствором карбамида.

Анализ испытаний опытных образцов на предел прочности на сжатие на основе предварительно обработанной древесной шерсти показал, что композиционный материал на основе термомодифицированного наполнителя превосходит по своим показателям на 18 %, а на основе наполнителя, пропитанного раствором карбамида, — на 20 % фибролитовых плит по ГОСТ 8928–81.

Выявлены зависимости предела прочности опытных образцов на изгиб от доли и размера древесного наполнителя в композиционном материале (рис. 2).

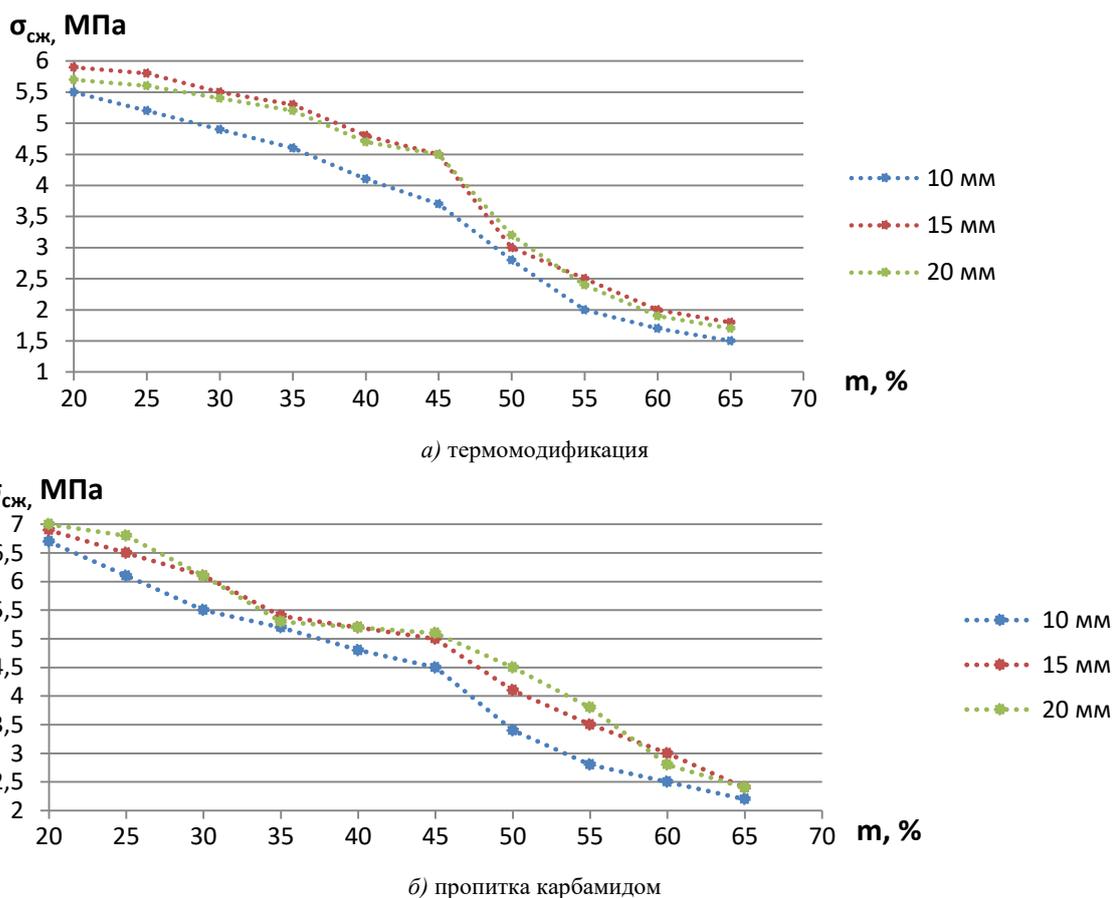


Рис. 1. Экспериментальная зависимость влияния доли и размера древесного наполнителя на прочность на сжатие образцов композиционного материала от вида применяемой модификации

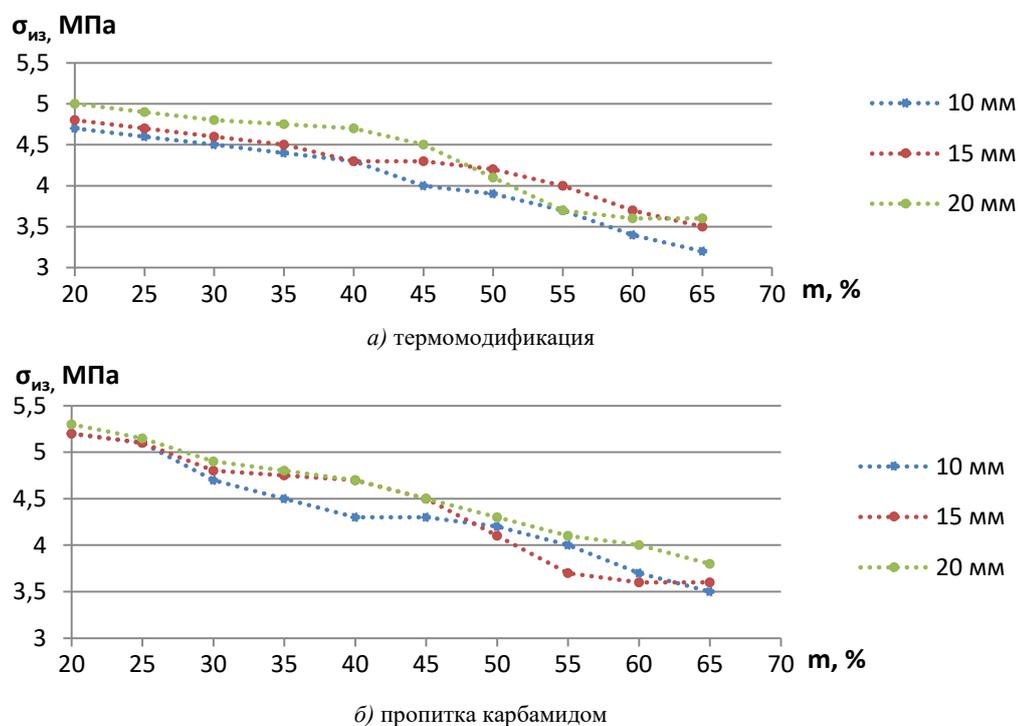


Рис. 2. Экспериментальная зависимость влияния доли и размера древесного наполнителя на прочность на изгиб образцов композиционного материала от вида применяемой модификации

Согласно полученным результатам определено, что с увеличением массы древесной шерсти относительно минерального связующего происходит снижение показателей предела прочности на изгиб. Анализ испытаний

экспериментальных образцов композиционного материала на основе предварительно термомодифицированного наполнителя при длине древесной шерсти 10 мм показал снижение предела прочности на 0,3 МПа относительно образцов на основе древесной шерсти длиной 15 и 20 мм. Анализ испытаний композиционного материала на основе наполнителя, предварительно пропитанного раствором карбамида, при длине древесной шерсти 10 и 15 мм показал снижение предела прочности на 0,1 МПа относительно образца на основе древесной шерсти длиной 20 мм. Анализ испытаний опытных образцов на основе предварительно обработанной древесной шерсти показал, что пропитка водным раствором карбамида превосходит термомодификацию древесного наполни-

теля на 0,6 МПа. Анализ испытаний экспериментальных образцов на предел прочности на изгиб на основе предварительно обработанной древесной шерсти показал, что разработанный материал на основе термомодифицированного наполнителя превосходит по своим показателям на 16 %, а на основе наполнителя, пропитанного раствором карбамида, на 17 % фибролитовых плит по ГОСТ 8928–81.

Величина водопоглощения определялась на основании результатов испытаний, когда на экспериментальный образец оказывалось краткосрочное воздействие, в результате чего на основании полученных значений была выявлена зависимость времени действия влаги от величины водопоглощения (рис. 3).

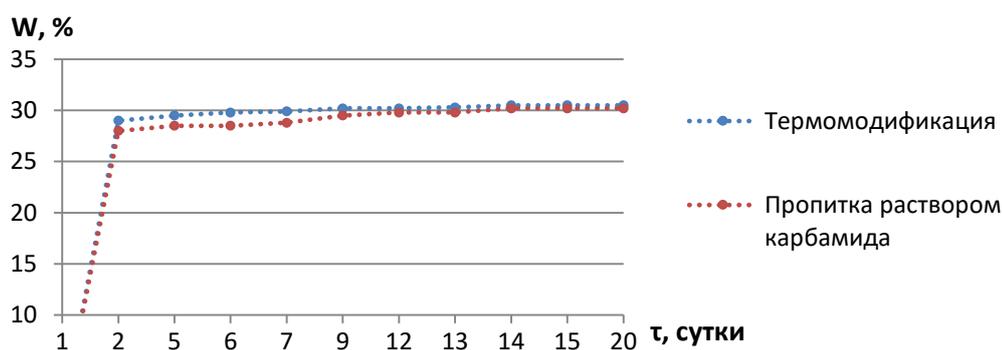


Рис. 3. Экспериментальная зависимость влияния влаги на водопоглощение образцов композиционного материала от вида модификации

Согласно результатам полученных зависимостей выявлено, что изменения величины водопоглощения в течение 24 ч после достижения максимально возможного уровня составляют 1,5 % и с течением 24 ч практически не увеличивается. Соответственно, изменений эксплуатационных свойств в дальнейшем не наблюдается. 25 % поглощения воды образцами является предельно допустимым и превосходит фибролитовые плиты по ГОСТ 8928–81 на 5 %.

По результатам исследований влияния предварительной обработки древесного наполнителя доказана целесообразность использования пропитки карбамид-

ным раствором. Установлено, что данный вид обработки по показателям водопоглощения ниже на 2–3 % по сравнению с образцом из термомодифицированного наполнителя.

Проведенные испытания образцов композиционного материала из древесной шерсти с предварительной модификацией обосновывают соответствие требованиям ГОСТ, что позволяет рекомендовать его для изготовления инновационных стеновых панелей.

Для адекватной оценки разработанного материала приведем дополнительно основные эксплуатационные показатели (табл. 1).

Таблица 1. Основные эксплуатационные показатели

Наименование	Основные физико-механические показатели			
	Плотность материала, $кг/м^3$	Теплопроводность, $Вт/(м*К)$	Расчетный коэффициент паропроницаемости, $мг/(м^2*ч*Па)$	Средний коэффициент звукопоглощения, NRC
Композиционный материал с термомодифицированным древесным наполнителем	450	0,07	0,13	0,5–0,7
Композиционный материал с пропиткой древесного наполнителя с раствором карбамида	475	0,08	0,15	0,6–0,7

Значительное увеличение эксплуатационных показателей наблюдается в процессе исследования экспериментальных образцов при применении в качестве наполнителя древесной шерсти, что, в свою очередь, позволяет расширить области применения разработанного материала со значительным снижением себестои-

мости относительно других аналогичных материалов, например, тех же самих фибролитовых плит по ГОСТ 8928–81.

Выводы. Анализ исследований композиционного материала на водопоглощение показал, что величина водопоглощения после 24 ч не превышает 1,5 %, и с те-

чением времени увеличение данного показателя не отмечается, из чего следует, что ухудшение эксплуатационных свойств при длительной эксплуатации не наблюдается.

Анализ исследований прочностных характеристик материала обосновали режимные параметры технологической переработки низкокачественной древесины мягколиственных пород с получением композиционных материалов. При сравнении композиционного материала, полученного с предварительно обработанным наполнителем и с фибролитовыми плитами, технология производства которых соответствует ГОСТ 8928–81, было установлено, что прочность на сжатие и прочность на изгиб разработанного композиционного материала выше на 18–20 и 16–17 % соответственно, что обосновывает необходимость предварительной обработки

древесного наполнителя для повышения эксплуатационных характеристик материала. Экспериментальные исследования отражают, что в качестве такой обработки наиболее обосновано использование пропитки древесной шерсти водным раствором карбамида.

Обоснованность использования по показателям в качестве конструкционного материала на основе древесных частиц и минерально-вяжущих веществ отражается в экспериментальных исследованиях физико-механических свойств разработанного материала.

Технология переработки низкокачественной древесины мягколиственных пород с получением композиционных материалов позволяет решить актуальную на сегодняшний день проблему переработки древесины мягколиственных пород.

Литература

- Сафин Р.Г., Петров В.И., Игнат'ева Г.И., Степанов В.В., Халитов Р.А. Использование отходов лесозаготовок и деревообработки для производства теплоизоляционных материалов // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. 2012. № 3-4. С. 100-108.
- Safin R.G., Barcik S., Tuntsev D.V., Safin R.R., Hismatov R.G. A mathematical model of thermal decomposition of wood in conditions of fluidized bed Acta Facultatis Xylogologicae Zvolen. 2016. V. 58. № 2. P. 141-148.
- Sadrtidinov A.R., Sattarova Z.G., Prosvirnikov D.B., Tuntsev D.V. Modeling of thermal treatment of wood waste in the gasifiers Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2015. 2015. P. 7414914.
- Tuncev D.V., Prosvirnikov D.B., Kozlov R.R. Physical and chemical properties of activated lignocellulose and its areas of application Solid State Phenomena. 2018. V. 284. P. 779-784.
- Харьков В.В., Тунцев Д.В., Кузнецов М.Г. Термохимическая переработка луги подсолнечника // Вестн. Казанского гос. аграрного ун-та. 2018. Т. 13. № 4 (51). С. 130-134.
- Хайруллина Э.Р. Технологическая линия переработки древесных отходов с получением конструкционного материала // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2014. № 3. Ч. 4 (8-4). С. 256-259.
- Хайруллина Э.Р. Усовершенствование технологии получения древесных плитных материалов на основе минеральных вяжущих веществ // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы II Междунар. технической конф. (9-11 сент. 2013 г.). Кострома, 2013. С. 69-70.
- Тунцев Д.В., Хайруллина М.Р., Китаев С.В., Игнат'ева Г.И. Технология переработки отходов лесной отрасли в угольные брикеты высокой прочности // Деревообрабатывающая пром-сть. 2020. № 4. С. 69-76.
- Тунцев Д.В., Китаев С.В., Сафин Р.Г., Хайруллина М.Р., Хузеев М.В. Переработка древесной коры в угольные брикеты высокой прочности // Деревообрабатывающая пром-сть. 2019. № 4. С. 78-85.
- Тунцев Д.В., Сафин Р.Г., Китаев С.В., Арсланова Г.Р. Получение пиротоплива быстрым кондуктивным пиролизом древесины сосны // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 10. С. 21-25.
- Safin R.G., Barcik S., Tuntsev D.V., Safin R.R., Hismatov R.G. A mathematical model of thermal decomposition of wood in conditions of fluidized bed Acta Facultatis Xylogologicae Zvolen. 2016. V. 58. № 2. P. 141-148.
- Васильков С.Н. Технологии производства и применения экологически чистых и энергоэффективных стройматериалов на основе древесного сырья // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2004. № 11. С. 50-51.
- Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных материалов. М.: Стройиздат, 1980. 396 с.
- Степанов В.В., Хайруллина Э.Р. Установка переработки древесных отходов с получением теплоизоляционного материала // Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология: материалы Третьей Всерос. студенческой науч.-технической конф. Казань, 2012. С. 101-103.
- Копейкин А.М. Технологические основы эффективного использования древесины мягколиственных пород в производстве пилопродукции: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.05. Архангельск, 2002. 39 с.
- Safin R.R., Safina A.V., Baigildeeva E.I., Kainov P.A., Saerova K.V. Impact of wood raw materials movement parameters on the annealing reactor torrefaction efficiency // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2020. P. 77-82.
- Safiullina A.Kh., Kainov P.A., Safin R.R., Mukhametzyanov S.R., Shageeva A.I. Self-contained energy-saving plant for drying vegetable raw materials // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2020. P. 253-260.
- Palova G.F., Safin R.R., Mukhametzyanov S.R., Khasanshina R.T., Kraysman N.V. Ultraviolet treatment for improving wood filler physical properties in composite production // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2020. P. 459-465.
- Сафин Р.Р., Сафин Р.Г. Анализ современного состояния лесопромышленного комплекса и перспективы его развития на базе кафедр лесотехнического профиля КГТУ // Вестн. Казанского технологического ун-та. 2010. № 4. С. 120-130.
- Сафин Р.Г., Степанов В.В., Хайруллина Э.Р., Гайнуллина А.А., Степанова Т.О. Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов // Вестн. Казанского технологического ун-та. 2014. Т. 17. № 20. С. 123-128.

References

- Safin R.G., Petrov V.I., Ignat'eva G.I., Stepanov V.V., Halitov R.A. The use of waste from logging and woodworking for the production of thermal insulation materials // Proceedings of

- the higher educational institutions. *Energy Sector Problems*. 2012. № 3-4. P. 100-108.
2. Safin R.G., Barcik S., Tuntsev D.V., Safin R.R., Hismatov R.G. A mathematical model of thermal decomposition of wood in conditions of fluidized bed *Acta Facultatis Xylogologicae Zvolen*. 2016. V. 58. № 2. P. 141-148.
 3. Sadrtidinov A.R., Sattarova Z.G., Prosvirnikov D.B., Tuntsev D.V. Modeling of thermal treatment of wood waste in the gasifiers *Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2015*. 2015. P. 7414914.
 4. Tuncev D.V., Prosvirnikov D.B., Kozlov R.R. Physical and chemical properties of activated lignocellulose and its areas of application *Solid State Phenomena*. 2018. V. 284. P. 779-784.
 5. Har'kov V.V., Tuncev D.V., Kuznecov M.G. Thermochemical processing of sunflower husk // *Vestnik of the Kazan State Agrarian*. 2018. V. 13. № 4 (51). P. 130-134.
 6. Hajrullina E.R. Technological line for processing wood waste to obtain structural material // *Aktual'nye napravleniya nauch. issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*. 2014. № 3. Ch. 4 (8-4). P. 256-259.
 7. Hajrullina E.R. Improvement of the technology for obtaining wood slab materials based on mineral binders // *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa: materialy II Mezhdunar. tekhnicheskoy konf. (9-11 sent. 2013 g.)*. Kostroma, 2013. P. 69-70.
 8. Tuncev D.V., Hajrullina M.R., Kitaev S.V., Ignat'eva G.I. Technology of processing waste from the forest industry into high-strength coal briquettes // *Derevoobrabativaushaya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2020. № 4. P. 69-76.
 9. Tuncev D.V., Kitaev S.V., Safin R.G., Hajrullina M.R., Huzeev M.V. Processing of wood bark into high-strength coal briquettes // *Derevoobrabativaushaya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2019. № 4. P. 78-85.
 10. Tuncev D.V., Safin R.G., Kitaev S.V., Arslanova G.R. Production of biofuels by rapid conductive pyrolysis of pine wood // *Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiya (Repair, Reconditioning, Modernization)*. 2019. № 10. P. 21-25.
 11. Safin R.G., Barcik S., Tuntsev D.V., Safin R.R., Hismatov R.G. A mathematical model of thermal decomposition of wood in conditions of fluidized bed *Acta Facultatis Xylogologicae Zvolen*. 2016. V. 58. № 2. P. 141-148.
 12. Vasil'kov S.N. Technologies of production and application of environmentally friendly and energy-efficient building materials based on wood raw materials // *Construction materials, the equipment, technologies of XXI century*. 2004. № 11. P. 50-51.
 13. Gorlov YU.P. *Technology of thermal insulation materials*. M.: Strojizdat, 1980. 396 p.
 14. Stepanov V.V., Hajrullina E.R. Installation of wood waste processing with the production of thermal insulation material // *Intensifikatsiya teplo-massoobmennykh processov, promyshlennaya bezopasnost' i ekologiya: materialy Tret'ej Vseros. studencheskoj nauch.-tekhnicheskoy konf. Kazan'*, 2012. P. 101-103.
 15. Kopejkin A.M. Technological bases of effective use of soft-leaved wood in the production of sawn products: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.21.05. Arhangel'sk, 2002. 39 p.
 16. Safin R.R., Safina A.V., Baigildeeva E.I., Kainov P.A., Saerova K.V. Impact of wood raw materials movement parameters on the annealing reactor torrefaction efficiency // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2020. P. 77-82.
 17. Safiullina A.Kh., Kainov P.A., Safin R.R., Mukhametzyanov S.R., Shageeva A.I. Self-contained energy-saving plant for drying vegetable raw materials // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2020. P. 253-260.
 18. Ilalova G.F., Safin R.R., Mukhametzyanov S.R., Khasanshina R.T., Kraysman N.V. Ultraviolet treatment for improving wood filler physical properties in composite production // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2020. P. 459-465.
 19. Safin R.R., Safin R.G. Analysis of the current state of the timber industry complex and prospects for its development on the basis of the departments of the forestry profile of KSTU // *Herald of Kazan Technological University (KNRTU)*. 2010. № 4. P. 120-130.
 20. Safin R.G., Stepanov V.V., Hajrullina E.R., Gajnullina A.A., Stepanova T.O. Modern construction composite materials based on wood waste // *Herald of Kazan Technological University (KNRTU)*. 2014. V. 17. № 20. P. 123-128.