

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСНОГО КОМПОЗИТА

В.А. Острякова[✉], В.Н. Ермолин, М.А. Баяндин

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Россия, 660037, г. Красноярск, ул. Проспект имени газеты «Красноярский рабочий», д. 31

ostryakova_va@sibsau.ru

Приведены результаты исследований по поиску древесного наполнителя для создания композита, в котором в качестве матрицы используется гидродинамически активированная древесная масса. При этом ставилось условие, что его свойства будут соответствовать требованиям, предъявляемым к древесно-стружечным плитам. Получено, что геометрические характеристики древесных частиц оказывают значительное влияние на свойства композита. В первую очередь это относится к размерам частиц в направлении поперек волокон. Установлено, что использование игольчатой стружки, которая применяется в производстве древесно-стружечных плит, не позволяет получить требуемые результаты. Показана целесообразность использования в качестве наполнителя крупноразволокнуемых древесных частиц, полученных безножевым размолом на бегунковой дробилке. Установлено, что плиты, изготовленные способом горячего прессования из активированной древесной массы (30 %) и крупно разволокнуемых древесных частиц (70 %) по плотности, прочности, разбуханию и толщине соответствуют требованиям, предъявляемым к древесно-стружечным плитам и при этом имеют класс эмиссии формальдегида Е0.

Ключевые слова: древесный композит, полидисперсная система, наполнитель, деформация, аутогезионное взаимодействие, фибриллирование

Ссылка для цитирования: Острякова В.А., Ермолин В.Н., Баяндин М.А. Влияние геометрических характеристик наполнителя на свойства древесного композита // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 139–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-139-148

В настоящее время производство древесных плит — одно из динамично развивающихся направлений деревообработки вследствие их высоких потребительских свойств и возможности использования в качестве сырья низкосортной древесины и отходов ее механической обработки. Это в полной мере относится к древесно-стружечным плитам (ДСтП). Они имеют сравнительно высокую прочность, надежность, жесткость при средней плотности (550...820 кг/м³) и большой толщине (от 10 до 42 мм), поэтому широко применяются в производстве мебели, при отделочных и строительных работах.

В производстве ДСтП, как правило, используются связующие, созданные на основе синтетических термореактивных полимеров, которые содержат свободный формальдегид. ДСтП — это основной источник выделения формальдегида в жилых помещениях [1, 2], что предопределяет поиск новых решений, направленных на производство экологически безопасных и поддающихся глубокому рециклингу плитных материалов.

Существующие подходы к снижению эмиссии формальдегида направлены в основном на модификацию клеевых составов на основе термореактивных полимеров, что не позволяет в полной мере решить проблему получения экологически

безопасных материалов. В связи с этим актуальность приобрел поиск альтернативных адгезивов для производства древесных композиционных материалов без содержания формальдегида и других токсичных веществ [3–5].

Как показывает анализ работ [6–9], в последние годы (2010–2023 гг.) для получения плит активно разрабатываются связующие на основе возобновляемого сырья, в том числе химической активации древесных волокон. В частности, предлагается модификация лигнина, путем его сшивания триэтилфосфатом или диаминами и полиаминами. Кроме того, осуществляется разработка подходов для получения связующих (биоклеев) на основе соевого белка, углеводов (экзополисахаридов, крахмала и т. д.). В них основными компонентами служат природный полимер — коллаген, а также казеин, крахмал, декстрин, альбумин, декстран [10–12]. Основной недостаток таких клеевых композиций — низкие водо- и биостойкость, длительность процесса отверждения.

В большинстве случаев плиты на основе биоклеев по физико-механическим свойствам соответствуют требованиям стандартов на плитные материалы, поэтому получают плиты с классом эмиссии по формальдегиду Е-0. Однако удельная продолжительность прессования плит при этом в 2–4 раза больше по сравнению с формальдегидными смолами, что и предопределяет дополнительные

затраты на их производство. Наиболее перспективным решением в этом отношении признана активация древесины для получения плит без связующих.

Древесина представляет собой комплекс полимеров, которые могут выступать в качестве адгезива [13] или обеспечивать аутогезионное взаимодействие между древесными частицами [14], что повысило интерес к плитным материалам, получаемым без связующих веществ. Одним из направлений их получения служит активация сырья [16–19].

Авторы работы [20] предложили термохимический способ подготовки древесины при формировании моноструктурных волокнистых древесных плит, что позволило полностью отказаться от синтетических связующих. Однако невозможность получения плит толщиной более 6 мм и средней плотности ограничивают их производство. Авторы связывают это с недостаточным прогревом внутреннего слоя плит толщиной более 6 мм, поскольку для трансформации компонентов древесины под действием модификатора требуется больше энергии, чем для отверждения термореактивных полимеров [20].

Аналогичные проблемы возникают при использовании этерификации древесной биомассы с использованием различных ангидридов дикарбоновых кислот в различных условиях [21–24]. Применение гликолей (этиленгликоля, глицерина и др.) в качестве одного из компонентов при изготовлении древесных плитных материалов, также весьма перспективное направление, поскольку гликоли считаются доступными реагентами и содержат две гидроксильные группы или больше, которые могут вступать в реакции сополимеризации [25, 26]. У данной композиции также есть недостаток — ограничена толщина (3...5 мм), что не сопоставимо с таковой для ДСтП, применяемых в мебельной промышленности.

В настоящее время активно развивается направление получения подобных материалов без связующих веществ, структурообразование которых происходит за счет аутогезионного взаимодействия компонентов. Известен такой способ активации, как паровзрывной гидролиз, при котором древесные частицы подвергаются разрушению вследствие декомпрессии и температуры. В результате происходит разрушение легкогидролизуемых полисахаридов и деградация лигнина, сопровождающиеся разрушением клеточной структуры древесины и увеличением количества свободных функциональных групп [27]. Это позволяет получать древесные пластики с высокими механическими свойствами [28]. Однако предлагаемые способы трудно реализовать, поскольку материалы средней плотности нет возможности получить без использования связующих веществ.

Еще одним способом активации является химическое воздействие на лигноуглеводную матрицу древесинного вещества. Для этого используют химические вещества, которые при воздействии вызывают деструкцию клеточной стенки, что позволяет увеличить количество реакционно-способных групп, которые при последующем горячем прессовании образуют физические и химические связи [29]. Данный способ получения древесных плитных материалов не нашел широкого применения ввиду высокой энергоемкости и сложной технологии.

В процессе биологической активации древесины [30, 31] под действием ферментов дереворазрушающих грибов происходит разрушение лигнина и гемицеллюлозы, а целлюлозные фибриллы практически сохраняют исходную структуру. В лигнине и полисахаридах образуются активные центры и реакционноспособные группы, которые при последующем прессовании и воздействии высоких температур образуют прочные химические связи [25, 28, 29]. Следует отметить, что при изготовлении плит из такой древесины необходимы высокая температура (170...225 °С) и высокое давление (до 20...30 МПа), тогда можно получить плиты только высокой плотности, сфера применения которых также ограничена.

Перспективным способом обработки древесины служит ее механоактивация гидродинамическим способом. При таком воздействии, вследствие эффекта кавитации, происходит фибриллирование древесных частиц за счет частичного расслоения клеточных стенок на отдельные пучки фибрилл. В результате образуются новые межфазные поверхности с активными функциональными группами, которые ранее участвовали в формировании надмолекулярных структур компонентов клеточной стенки [32]. При удалении воды между функциональными группами образуются межмолекулярные связи (в основном водородные) между соседними частицами. Вследствие этого происходит структурообразование материала без использования связующих веществ. Удаление воды может происходить в процессе горячего прессования или конвективной сушки. Полученные плиты по своим механическим свойствам при сопоставимой плотности не уступают широко известным аналогам: ДСтП, древесноволокнистым плитам сухого способа производства (МДФ), древесно-волокнистым плитам (ДВП), а по водостойкости даже превосходят [33, 34]. Однако гидродинамическая обработка древесного сырья требует существенных энергозатрат, поэтому не всегда целесообразно изготавливать плиты исключительно из активированной массы. В некоторых случаях было бы рациональным получение композита, состоящего из активированной массы (матрицы)



Рис. 1. Наполнитель для производства опытных образцов древесных плит: *а* — игольчатая стружка для ДСтП; *б* — рафинерное волокно для ДВП

Fig. 1. Filler for the production of wood-based panel prototypes: *a* — needle chips for chipboard; *b* — refinery fiber for fiberboard

древесных частиц (наполнителя), что позволило бы снизить энергозатраты на единицу продукции и тем самым повысить эффективность. Подобного опыта ранее не было и научные основы создания таких композитов не разработаны.

Цель работы

Цель работы — выбор вида наполнителя для получения на основе механоактивированной массы древесного композита, аналогичного по физико-механическим свойствам ДСтП.

Материалы и методы

Процесс формирования структуры механоактивированной древесной массы (матрица) происходит в результате высыхания. Масса представляет собой двухфазную полидисперсную систему из древесных частиц и воды. Удаление влаги из такой системы под действием сил капиллярной контракции [35, 36] приводит к уменьшению ее размеров (усадке) на всем диапазоне изменения влажности (от 1000 до 5 %) [37].

Наполнитель (стружка) представляет собой капиллярно-пористое коллоидное тело, которое также деформирует, но при удалении только связанной влаги (при усушке). У наполнителя, в отличие от активированной массы, ярко выражена анизотропия усушки вдоль и поперек волокон. Усушка поперек волокон почти на два порядка больше, чем вдоль. Это различие свойств наполнителя и матрицы следует учитывать, поскольку без этого невозможно получить композит с высокими эксплуатационными свойствами вследствие возможных локальных отслоений в месте контактов компонентов.

Анализ явлений, происходящих в процессе структурообразования такого композита, позволили сделать заключение, что один из возможных факторов, влияющих на свойства материала, — это геометрические характеристики наполнителя, в первую очередь его размеры в направлении поперек волокон из-за больших влажностных деформаций. Для проверки этого заключения были проведены экспериментальные исследования на примере двух видов наполнителя: 1) игольчатой стружки из древесины хвойных пород фракцией от 2,0 до 0,5 мм, полученной на центробежном стружечном станке (рис. 1, *а*); 2) рафинерного хвойного волокна для ДВП, полученного на АО «Лесосибирский ЛДК № 1» (рис. 1, *б*). У стружки поперечный размер в среднем составлял 1,2 мм, а продольный — 10 мм, у волокна соответственно 0,03 ... 0,08 и 1 ... 3 мм.

Для изготовления древесной массы использовались опилки хвойных пород, имеющих влажность 50...80 %. Их замачивали в воде в соотношении 94 % воды и 6 % опилок. После чего производили активацию в гидродинамическом диспергаторе роторного типа РГГД-1 [38]. Полученную древесную массу смешивали с наполнителем в соотношении 70:30 (70 % наполнителя; 30 % массы). После этого ее загружали в пресс-форму размером 250×250 мм и помещали под прессовку при давлении $P = 2,5$ МПа в течение $\tau = 5$ мин. Уплотненная композиция помещалась в пресс горячего прессования, где согласно выбранному режиму прессовалась до состояния готовой плиты. В результате были получены плиты толщиной 15 мм и плотностью 750 кг/м³.

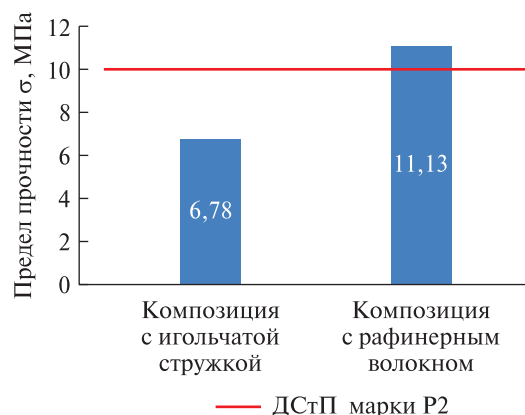


Рис. 2. Влияние вида наполнителя на прочность плит при статическом изгибе

Fig. 2. Influence of the type of filler on the static bending strength of boards

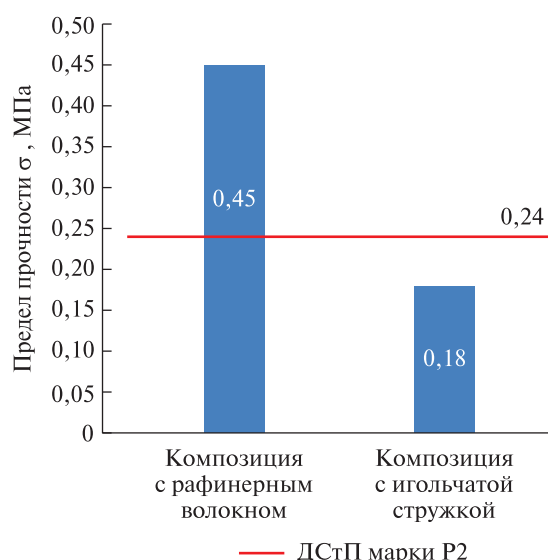


Рис. 3. Влияние вида наполнителя на прочность плит при растяжении перпендикулярно к пласти

Fig. 3. Influence of the type of filler on the tensile strength of boards perpendicular to the plate



Рис. 4. Разволоknенные древесные частицы

Fig. 4. Fibrous wood particles

Далее, в соответствии с ГОСТ 10632–2014 [39], были проведены испытания на статический изгиб и на разрыв перпендикулярно пласти (рис. 2). В качестве контроля на рис. 2 приведены значения, требуемые стандартом для ДСтП, поскольку именно они являются прямым аналогом для исследуемых плит.

Из полученных результатов следует, что у плит, наполнителем в которых было волокно, прочность на статический изгиб значительно выше, чем у плит с игольчатой стружкой, и у плит с волокном прочность выше, чем требуется по стандарту для ДСтП, полученных с использованием синтетических адгезивов. У плит с игольчатой стружкой прочность примерно на 1/3 ниже, чем с волокном, и не соответствует требованиям стандарта.

Результаты исследований на разрыв перпендикулярно пласти представлены на рис. 3, откуда следует, что данный показатель прочности также существенно зависит от формы частиц наполнителя. В частности, использование рафинерного волокна позволяет получить прочность более чем в 2 раза выше, при использовании игольчатой стружки прочность существенно ниже, чем в требованиях к ДСтП.

Как мы и предполагали на основании анализа, наполнитель в такой композиции должен иметь минимальный размер в направлении поперек волокон. Это, по всей вероятности, позволяет уменьшить напряжения в зоне контакта матрицы и наполнителя, которые возникают из-за разности их влажностных деформаций. По этой причине не происходит отслоение в зоне контакта, что обеспечивает высокую прочность.

Рафинерное волокно не является лучшим наполнителем для получения плит, что связано с особенностями его получения, требующего существенных энергозатрат и специального оборудования. На известных стружечных станках (т. е. за счет резанья) получить частицы требуемых геометрических характеристик не представляется возможным. В связи с этим потребовался поиск способов получения наполнителя, основанных на других принципах. В частности, были изучены древесные частицы, изготовленные из хвойной древесины путем безножевого размола на бегунковой дробилке Vecoplan АО «Краслесинвест». По классификации, приведенной в работах [40, 41], такие частицы можно отнести к крупноразволоknеным (рис. 4).

На фотографии видно, что большинство частиц в направлении поперек волокон, достаточно большого размера, но они не представляют собой сплошное тело. За счет трещин вдоль волокон, которые появляются в процессе их получения, частицы несколько разделены на отдельные

фрагменты и могут деформировать при изменении влажности независимо одна от другой. Это, возможно, позволит снизить напряжения в зоне контакта наполнителя и матрицы. Для проверки этого предположения были проведены дальнейшие исследования.

По изложенной выше методике были изготовлены плиты с таким наполнителем фракции от 0,3 до 5 мм. Механические испытания плит показали следующее. Предел прочности на статический изгиб равен 11,23 МПа, т. е. такой же, как и у плит, наполнителем в которых было волокно, и больше требуемого стандартом для ДСтП. Прочность на разрыв перпендикулярно пласти составила 0,32, что меньше, чем у плит с волокном, но выше чем в требованиях к ДСтП.

В соответствии с ГОСТ 10634–88 были проведены исследования разбухания плит (рис. 5), из которых следует, что разбухание плит с разволокненным наполнителем соответствует требованиям, предъявляемым к ДСтП. При этом у плит с волокном отметим аномально высокое разбухание.

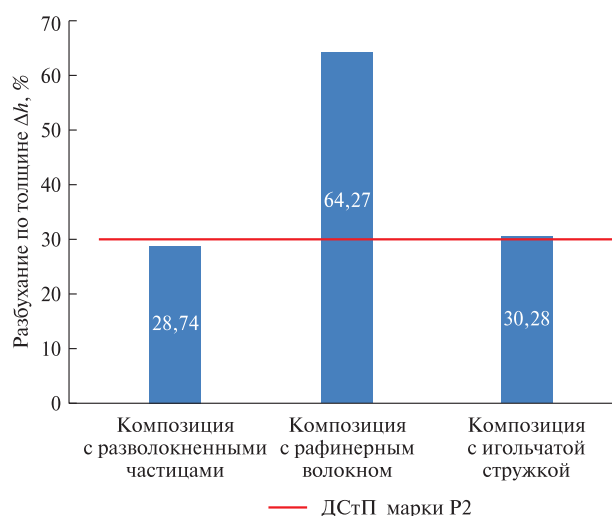


Рис. 5. Влияние вида наполнителя на разбухание плит по толщине

Fig. 5. Influence of the type of filler on the thickness swelling of boards

Полученные результаты подтверждают принципиальную возможность получения плитных материалов, состоящих из активированной древесной массы и наполнителя, которые по плотности и прочности соответствуют требованиям, предъявляемым к ДСтП, и при этом определенная перфораторным методом эмиссия формальдегида может составить 0,91 мг/100 г абсолютно сухой плиты, что соответствует естественному фону древесины и соответственно классу эмиссии Е0. Следовательно, такие плиты могут найти широкое применение.

Выводы

1. При получении композита из активированной древесной массы и древесного наполнителя свойства материала существенно зависят от размеров частиц наполнителя, в первую очередь от размера поперек волокон — чем меньше размер, тем выше свойства.

2. Древесные частицы, полученные резаньем на стружечных станках, не могут использоваться как наполнитель при получении плит, у которых в качестве матрицы взята активированная древесная масса. Перспективным наполнителем для таких плит являются крупноразволокненные древесные частицы, полученные на бегунковых дробилках.

3. Плиты, полученные горячим прессованием из активированной древесной массы (30 %) и крупноразволокненных древесных частиц, изготовленных на бегунковой дробилке (70 %), по плотности, прочности, разбуханию и толщине соответствуют требованиям, предъявляемым к ДСтП, и имеют класс эмиссии формальдегида Е0.

Список литературы

- [1] Стрелков В.П., Бардонов В.А. Проблемы экологической безопасности древесных плит и мебели в соответствии с новыми требованиями нормативов Таможенного союза // Экологический вестник России, 2013. № 9. С. 39–44.
- [2] Отлев И.А., Штейнберг Ц.Б. Справочник по древесно-стружечным плитам. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 233 с.
- [3] Базарнова Н.Г., Катраков И.Б., Галочкин А.И., Ефанов М.В. Плитные материалы на основе продуктов глубокой химической переработки древесины // Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования. Москва, Академия наук о Земле, МИИГАиК, 19–23 мая 1997 г. / под ред. В.П. Савиных, В.В. Вишневого. М.: Изд-во Академия наук о земле, 1997. Вып. 1. С. 46–49.
- [4] Леонович А.А. Физико-химические основы образования древесных плит. СПб.: Химиздат, 2003. 192 с.
- [5] Варфоломеев А.А., Синегибская А.Д., Гоготов А.Ф., Каницкая Л.В., Рохин А.В. Фенолформальдегидные смолы, модифицированные лигнином. Новые аспекты реакции // Химия растительного сырья, 2009. № 3. С. 11–16.
- [6] Abdelwahab N.A., Nassar M.A. Preparation, optimisation and characterisation of lignin phenol formaldehyde resin as wood adhesive // Pigment & Resin Technology, 2011, v. 40, no. 3, pp. 169–174.
- [7] Liu H., Xu T., Liu K., Zhang M., Liu W., Li H., Du H., Si C. Lignin-based electrodes for energy storage application // Industrial Crops and Products, 2021, v. 165, pp. 113–125.
- [8] Halis R. Optimization of Kraft and BioKraft pulping for Kenaf V36: PhD thesis. Malaysia: Universiti Putra, 2010.
- [9] Mohamed R., Halis R., Lim M.T. Biodegrading ability and enzymatic activities of some white rot fungi on kenaf (*Hibiscus cannabinus*) // Sains Malaysiana, 2013, v. 42, no. 10, pp. 1365–1370.
- [10] Лестер У., Шуштари К.А., Асрар Д., Го Ч., Чжан М. Связующие композиции, содержащие соевый белок и углеводов. Патент РФ № С2589653, 2016.

- [11] Пашкин С.В., Иванова М.А., Щелоков В.М. Инновационные технологии получения экологически чистых клееных материалов на основе водорастворимого биоклея из низкосортной древесины // Лесной вестник / Forestry bulletin, 2012, № 8 (91). С. 59–63.
- [12] Брутян К.Г. Формирование низкотоксичных древесных материалов с использованием клеев, модифицированных шунгитовыми сорбентами: дис. ... канд. техн. наук. СПбГЛТА, 2010. С. 153.
- [13] Ветошкина А.Е. Полимерные композиционные материалы на основе растительного сырья // Современные проблемы и перспективные направления инновационного: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции Омск, 14 июля 2022 г. Стерлитамак: Изд-во АМИ, 2022. С. 127–132.
- [14] Кононов Г.Н., Зайцев В.Д. Древесина как химическое сырье: история и современность. I. Лигноуглеводный комплекс древесины как объект изучения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 74–89. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-74-89
- [15] Базарнова Н.Г., Маркин В.И., Колосов П.В., Катраков И.Б., Калюта Е.В., Чепрасова М.Ю. Методы получения лигноуглеводных композиций из химически модифицированного растительного сырья // Российский химический журнал, 2011. Т. 55. № 1. С. 4–9.
- [16] Голязимова О.В. Механическая активация ферментативного гидролиза целлюлозы и лигноцеллюлозных материалов: автореф. дис. ... канд. хим. наук, 02.00.21. Новосибирск, 2010. 22 с.
- [17] Пестунов А.В., Кузьмин А.О., Яценко Д.А., Правдина М.Х., Таран О.П. Механическая активация чистой и содержащейся в древесных опилках целлюлозы в мельницах различного типа // Журнал Сибирского федерального университета, 2015. Т. 8. № 3. С. 386–400.
- [18] Левданский В.А. Комплексная переработка древесной коры с использованием процессов экстракции и взрывного автогидролиза: автореф. дис. ... д-ра хим. наук, Красноярск, 2006. 333 с.
- [19] Кузнецов Б.Н., Чесноков Н.В., Иванов И.П., Веприкова Е.В., Иванченко Н.М. Методы получения пористых материалов из лигнина и древесной коры (обзор) // Журнал сибирского федерального университета. Химия, 2015. Т. 8. № 2. С. 232–255.
- [20] Иванов Д., Орехов Е., Никифорова П., Усенко С. Нетоксичные древесноволокнистые плиты сухого способа изготовления // Бюллетень Ассоциации «ЛЕСТЕХ» 2022. № 9. С. 34–37.
- [21] Marcovich N.E., Reboredo M.M., Aranguren M.I. Sawdust modification: Maleic anhydride chemical treatment // Holz als Roh-und Werkstoff, 1996, v. 3, no. 54, pp. 189–193.
- [22] Hill C.A.S., Papadopoulos A.N. The pyridine-catalysed acylation of pine sapwood and phenolic model compounds with carboxylic acid anhydrides // Determination of activation energies and entropy of activation, 2002, pp. 150–156.
- [23] Doczekalska B., Bartkowiak M., Zakrzewski R. Esterification of willow wood with cyclic acid anhydrides // Wood research, 2014, v. 59, no. 1, pp. 85–96.
- [24] Vaidya A.A., Gaugler M., Smith D.A. Green route to modification of wood waste, cellulose and hemicellulose using reactive extrusion // Carbohydrate polymers, 2016, v. 136, pp. 1238–1250.
- [25] Катраков И.Б., Маркин В.И., Базарнова Н.Г., Голятин П.С. Различные связующие для получения полимерных композиций на основе древесины сосны // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: Материалы VI Всерос. конф. Барнаул, 22–24 апреля 2014 г. Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета, 2014. С. 366–368.
- [26] Катраков И.Б., Базарнова Н.Г., Маркин В.И. Пресс-масса, способ ее получения и способ получения плитных материалов на ее основе. Пат. 2381244 Российская Федерация, МПК C08L 97/02 (2006.01), B27K 9/00 (2006.01), B27N 3/04 (2006.01)/заявитель и патентообладатель Катраков И.Б., Базарнова Н.Г., Маркин В.И. № 2008100649; заявл. 20.07.2009; опубл. 10.02.2010, бюл. № 4, 12 с.
- [27] Просвирников Д.Б., Сафин Р.Р., Козлов Р.Р. Исследование физических свойств древесно-композиционных материалов на основе промытых активированных лигноцеллюлозных волокон // Наука. Образование. Инновации: сб науч. трудов по материалам XXII Междунар. науч.-практ. конф., Анапа, 12 сентября 2020. Анапа: Изд-во Научно-исследовательского центра экономических и социальных процессов в Южном Федеральном округе, 2020. С. 33–39.
- [28] Катраков И.Б., Маркин В.И., Колосов П.В. Бифункциональные синтетические связующие как альтернатива бесформальдегидного производства древесных плитных материалов // Химия растительного сырья, 2018. № 3. С. 251–260.
- [29] Катраков И.Б., Маркин В.И. Способ получения плитных материалов на основе кавитированного растительного сырья и синтетических связующих. Пат. 2656067 Российская Федерация, МПК B27N 3/04 (2006.01), C08L 97/02 (2006.01)/заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» № 2016145029; заявл. 16.11.2016; опубл. 16.05.2018, бюл. № 14, 7с.
- [30] Шутова В.В., Ревин В.В., Кудасева Т.В. Изучение действия гриба *Lentinus (Panus) tigrinus* на древесные отходы, используемые для получения биокomпозиционных материалов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология, 2013. Т. 13. № 4. С. 80–85.
- [31] Ильин Д.Ю., Ильина Г.В., Гарибова Л.В., Лихачев А.Н. Последовательная биоконверсия лигноцеллюлозных субстратов как способ реализации биотехнологического потенциала грибов // Микология и фитопатология, 2017. Т. 51. № 2. С. 90–98.
- [32] Казизин С.Н. Получение древесных плит без связующих веществ из механоактивированных древесных частиц: дис. ... канд. тех. наук. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. 20 с.
- [33] Казизин С. Н., Баяндин М. А., Ермолин В. Н. Влияние способов подготовки древесной массы на свойства плитных материалов // Лесной и химический комплексы — проблемы и решения. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2014. С. 81–84.
- [34] Баяндин М.А., Карнаухов В.Е., Намятов А.В., Ермолин В.Н. Исследование влажностных деформаций при формировании плит без связующих // Лесной и химический комплексы — проблемы и решения: Сб. материалов по итогам Всерос. науч.-практ. конф., Красноярск, 29 октября 2021 г. Красноярск: Изд-во СибГТУ им. М.Ф. Решетнева, 2022. С. 195–197.
- [35] Остриков М.С. О механическом действии молекулярно-поверхностных сил в процессах высыхания и увлажнения дисперсных и высокомолекулярных систем // Материалы VIII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии (секция коллоидной химии), Москва, 16–23 марта 1959 г. М.: Изд-во АН СССР, 1961. Т. 707. С. 59.
- [36] Остриков М.С., Дибров Г.Д., Данилова Е.П. О капиллярной контракции при высыхании в пленках-слоях гелей и пористых дисперсных тел // Доклады Академии наук — Российская академия наук, 1958. Т. 118, № 4. С. 751–754.

- [37] Карнаухов В.Е., Острякова В.А. Влияние начальной влажности на усадку при сушке плит без связующих // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием) 20–21 апреля 2023, Красноярск: Изд-во СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2022. С. 289–291.
- [38] Ермолин В.Н., Казицин С.Н., Баяндин М.А., Намятов А.В. Разработка режима гидродинамической активации древесных частиц с целью получения плит без связующих веществ // Хвойные бореальной зоны, 2017. Т. 35. № 3–4. С. 79–83.
- [39] ГОСТ 10632–2014. Плиты древесно-стружечные. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.
- [40] Пучков Б.В. Измельчение сырья для древесных плит. М.: Лесная пром-сть, 1980. 117 с.
- [41] Модлин Б.Д., Отлев И.А. Производство древесно-стружечных плит. М.: Высшая школа, 1977. 216 с.
- [42] ГОСТ 27678–2014 Плиты древесные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида. М.: Стандартинформ, 2015. 7 с.

Сведения об авторах

Острякова Валентина Александровна  — аспирант, зав. лаборатории кафедры «Технология композиционных материалов и древесиноведение», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», ostryakova_va@sibsau.ru

Ермолин Владимир Николаевич — д-р тех. наук, профессор, зав. кафедрой «Технология композиционных материалов и древесиноведение», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»; ermolinvn@sibsau.ru

Баяндин Михаил Андреевич — канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры «Технология композиционных материалов и древесиноведение», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»; bayandinma@sibsau.ru

Поступила в редакцию 01.03.2023.

Одобрено после рецензирования 30.05.2023.

Принята к публикации 28.11.2023.

INFLUENCE OF FILLER GEOMETRICAL CHARACTERISTICS ON WOOD COMPOSITE PROPERTIES

V.A. Ostryakova✉, V.N. Ermolin, M.A. Bayandin

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Prospect named after the newspaper «Krasnoyarsk worker» st., 660037, Krasnoyarsk, Russia

ostryakova_va@sibsau.ru

This paper presents the study results on the possibility of obtaining wood composite similar in properties to WPC and consisting of wood chips (filler) and hydrodynamically activated wood pulp (matrix). The structural formation of this composite occurs as a result of moisture removal. Due to the different properties of the components, there is a problem of obtaining a composite with high performance properties. The mass is a two-phase polydisperse system. Removal of moisture from such systems leads to a decrease in size (shrinkage). Dimensional reduction occurs over the entire range of moisture variation. The filler (shavings) is a capillary-porous colloidal body which also deforms but when only bound moisture is removed (shrinkage). It follows that the properties of the composite can be influenced by the size of the chip and primarily across the fibers. To test this hypothesis, boards with a density of 750 kg/m³ and a thickness of 15 mm consisting of activated wood pulp (30 %) and filler (70 %) were made. The filler used was refiner fiber and needle shavings. The static bending strength of the boards with refiner fiber was 11,13 MPa and that of the boards with needle shavings was 6,78 MPa. The tensile strength perpendicular to the plate was 0,45 MPa and 0,18 MPa, respectively. Considering that refiner fibers are not economically feasible to use for the production of boards, a search for other types of filler was carried out. As a result of the analysis, the filler produced on runner crushers was selected. Studies have shown that the bending strength of boards with such a filler is 11,23 MPa, the breaking strength perpendicular to the plate is 0,32 MPa, the swelling on the thickness of 28 %. The results obtained indicate the possibility of obtaining boards with all the properties corresponding to the requirements for fiberboard and having the formaldehyde emission class E0.

Keywords: wood composite, polydisperse system, filler, deformation, autohesion interaction, fibrillation

Suggested citation: Ostryakova V.A., Ermolin V.N., Bayandin M.A. *Vliyaniye geometricheskikh kharakteristik napolnitelya na svoystva drevesnogo kompozita* [Influence of filler geometrical characteristics on wood composite properties]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 139–148.
DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-139-148

References

- [1] Strelkov V.P., Bardonov V.A. *Problemy ekologicheskoy bezopasnosti drevesnykh plit i mebeli v sootvetstvii s novymi trebovaniyami normativov Tamozhennogo soyuza* [Problems of environmental safety of wood boards and furniture in accordance with the new requirements of the Customs Union regulations]. *Ekologicheskii vestnik Rossii* [Ecological Bulletin of Russia], 2013, no. 9, pp. 39–44.
- [2] Otlev I.A., Shteynberg Ts.B. *Spravochnik po drevesno-struzhechnym plitam* [Handbook on particle boards]. Moscow: Lesnaya prom-st', 1983, 233 p.
- [3] Bazarnova N.G., Katrakov I.B., Galochkin A.I., Efanov M.V. *Plitnye materialy na osnove produktov glubokoy khimicheskoy pererabotki drevesiny* [Board materials based on products of deep chemical processing of wood]. *Trudy Mezhdunarodnogo foruma po problemam nauki, tekhniki i obrazovaniya* [Proceedings of the International Forum on Science, Technology and Education]. December 8–12, 1997 / Ed. V.P. Savinykh, V.V. Vishnevsky. Moscow: Academy of Earth Sciences, 1997, v. 1, pp. 46–49.
- [4] Leonovich A.A. *Fiziko-khimicheskie osnovy obrazovaniya drevesnykh plit* [Physical and chemical bases of wood boards formation]. St. Petersburg: Himizdat, 2003, 192 p.
- [5] Varfolomeev A.A., Sinigibskaya A.D., Gogotov A.F., Kanitskaya L.V., Rokhin A.V. *Fenolformal'degidnye smoly, modifitsirovannyye ligninom. Noveye aspekty reaktsii* [Phenol-formaldehyde resins modified by lignin. New aspects of the reaction]. *Chemistry of Plant Raw Materials*, 2009, v. 3, pp. 11–16.
- [6] Abdelwahab N.A., Nassar M.A. Preparation, optimisation and characterisation of lignin phenol formaldehyde resin as wood adhesive. *Pigment & Resin Technology*, 2011, v. 40, no. 3, pp. 169–174.
- [7] Liu H., Xu T., Liu K., Zhang M., Liu W., Li H., Du H., Si C. Lignin-based electrodes for energy storage application. *Industrial Crops and Products*, 2021, v. 165, pp. 113–125.
- [8] Halis R. Optimization of Kraft and BioKraft pulping for Kenaf V36: PhD thesis. Malaysia: Universiti Putra, 2010.
- [9] Mohamed R., Halis R., Lim M.T. Biodegrading ability and enzymatic activities of some white rot fungi on kenaf (*Hibiscus cannabinus*). *Sains Malaysiana*, 2013, v. 42, no. 10, pp. 1365–1370.
- [10] Lester U., Shushtari K.A., Asrar D., Go Ch., Chzhan M. *Svyazuyushchie kompozitsii, soderzhashchie soevyvy belok i uglevod* [Binding compositions containing soy protein and carbohydrate]. Patent RF № S2589653, 2016.
- [11] Pashkin S.V., Ivanova M.A., Shchelokov V.M. *Innovatsionnye tekhnologii polucheniya ekologicheskikh chistykh kleennykh materialov na osnove vodorastvorimogo biokleya iz nizkosortnoy drevesiny* [Innovative technologies for obtaining environmentally friendly glued materials based on water-soluble bioclay from low-grade wood]. *Lesnoy vestnik / Forestry bulletin*, 2012, no. 8 (91), pp. 59–63.
- [12] Brutyan K.G. *Formirovaniye nizkotoksichnykh drevesnykh materialov s ispol'zovaniem kleev, modifitsirovannykh shungitovymi sorbentami* [Formation of low-toxic wood materials using adhesives modified by shungite sorbents]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry Academy, 2010. P. 153.

- [13] Vetoshkina A.E. *Polimernye kompozitsionnye materialy na osnove rastitel'nogo syr'ya* [Polymeric composite materials on the basis of plant raw materials]. *Sovremennye problemy i perspektivnye napravleniya innovatsionnogo* [Modern problems and promising areas of innovation modern problems and perspective directions of innovative], 2022, pp. 127–132.
- [14] Kononov G.N., Zaitsev V.D. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e: istoriya i sovremennost'. I. Lignouglevodnyy kompleks drevesiny kak ob'ekt izucheniya* [Wood as a chemical raw material: its history and modernity. I. Lignocarbohydrate complex of wood as an object of study]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 74–89. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-74-89
- [15] Bazarnova N.G., Markin V.I., Kolosov P.V., Katrakov I.B., Kalyuta E.V., Cheprasova M.Yu. *Metody polucheniya lignouglevodnykh kompozitsiy iz khimicheskii modifitsirovannogo rastitel'nogo syr'ya* [Methods for obtaining lignocarbohydrate compositions from chemically modified plant raw materials] *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Russian Chemical Journal], 2011, v. 55, no. 1, pp. 4–9.
- [16] Golyazimova O.V. *Mekhanicheskaya aktivatsiya fermentativnogo gidroliza tsellyulozy i lignotsellyuloznykh materialov* [Mechanical activation of fermentative hydrolysis of cellulose and lignocellulosic materials]. *Dis. Cand. Sci. (Chemical)*. Novosibirsk, 2010, p. 240.
- [17] Pestunov A.V., Kuz'min A.O., Yatsenko D.A., Pravdina M.Kh., Taran O.P. *Mekhanicheskaya aktivatsiya chistoy i soderzhashchey v drevesnykh opilkakh tsellyulozy v mel'nitsakh razlichnogo tipa* [Mechanical activation of pure cellulose and cellulose contained in sawdust in mills of various types]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta* [J. of Siberian Federal University], 2015, v. 8, no. 3, pp. 386–400.
- [18] Levdanskiy V.A. *Kompleksnaya pererabotka drevesnoy kory s ispol'zovaniem protsessov ekstraktsii i vzryvnogo avtogidroliza* [Integrated processing of wood bark using the processes of extraction and explosive autohydrolysis]. *Diss. Dr. Sci. (Chemical)*, 2006, 333 p.
- [19] Kuznetsov B.N., Chesnokov N.V., Ivanov I.P., Veprikova E.V., Ivanchenko N.M. *Metody polucheniya poristyykh materialov iz lignina i drevesnoy kory (obzor)* [Methods of obtaining porous materials from lignin and wood bark (review)]. *Zhurnal sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya* [J. of Siberian Federal University. Chemistry], 2015, v. 8, no. 2, pp. 232–255.
- [20] Ivanov D., Orekhov E., Nikiforova P., Usenko S. *Netoksichnye drevesnovoloknistye plity sukhogo sposoba izgotovleniya* [Non-toxic wood-fiber boards in a dry process]. *Byulleten' Assotsiatsii «LESTEK»*, 2022, no. 9, pp. 34–37.
- [21] Marcovich N.E., Reboredo M.M., Aranguren M.I. Sawdust modification: Maleic anhydride chemical treatment. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1996, v. 3, no. 54, pp. 189–193.
- [22] Hill C.A.S., Papadopoulos A.N. The pyridine-catalysed acylation of pine sapwood and phenolic model compounds with carboxylic acid anhydrides. Determination of activation energies and entropy of activation, 2002, pp. 150–156.
- [23] Doczekalska B., Bartkowiak M., Zakrzewski R. Esterification of willow wood with cyclic acid anhydrides. *Wood research*, 2014, v. 59, no. 1, pp. 85–96.
- [24] Vaidya A.A., Gaugler M., Smith D.A. Green route to modification of wood waste, cellulose and hemicellulose using reactive extrusion. *Carbohydrate polymers*, 2016, v. 136, pp. 1238–1250.
- [25] Katrakov I.B., Markin V.I., Bazarnova N.G., Golyatin P.S. *Razlichnye svyazuyushchie dlya polucheniya polimernykh kompozitsiy na osnove drevesiny sosny* [Various binders for obtaining polymeric compositions based on pine wood]. *Novye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya: materialy VI Vserossiyskoy konferentsii* [New advances in chemistry and chemical technology of plant raw materials: materials of the VI All-Russian Conference]. Barnaul, 22–24 aprelya 2014 g. Barnaul: Altayskiy gosudarstvennyy universitet, 2014, pp. 366–368.
- [26] Katrakov I.B., Bazarnova N.G., Markin V.I. *Press-massa, sposob ee polucheniya i sposob polucheniya plitnykh materialov na ee osnove* [Press-mass, method of its production and method of obtaining materials on its basis]. *Patent RF. № 2381244*, 2009.
- [27] Prosvirnikov D.B., Safin R.R., Kozlov R.R. *Issledovanie fizicheskikh svoystv drevesno-kompozitsionnykh materialov na osnove promytnykh aktivirovannykh lignotsellyuloznykh volokon* [Study of physical properties of wood composite materials based on washed activated lignocellulosic fibers]. *Nauka. Obrazovanie. Innovatsii: sb nauch. trudov po materialam XXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science. Education. Innovations: Sat scientific. proceedings based on the materials of the XXII International Scientific and Practical Conference], Anapa, September 12, 2020. Anapa: Nauchno-issledovatel'skiy tsentr ekonomicheskikh i sotsial'nykh protsessov v Yuzhnom Federal'nom okruge [Research Center for Economic and Social Processes in the Southern Federal District], 2020, pp. 33–39.
- [28] Katrakov I.B., Markin V.I., Kolosov P.V. *Bifunktsional'nye sinteticheskie svyazuyushchie kak al'ternativa besformal'degidnogo proizvodstva drevesnykh plitnykh materialov* [Kolosov Bifunctional synthetic binders as an alternative to formaldehyde-free production of wood panel materials]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials], 2018, no. 3, pp. 251–260.
- [29] Katrakov I.B., Markin V.I. *Sposob polucheniya plitnykh materialov na osnove kavitirovannogo rastitel'nogo syr'ya i sinteticheskikh svyazuyushchikh* [Method of obtaining plate materials based on cavitated vegetable raw materials and synthetic binders]. *Patent RF № 2656067*, 2018.
- [30] Shutova V.V., Revin V.V., Kudaeva T.V. *Izuchenie deystviya griba *Lentinus* (*Panus*) *tigrinus* na drevesnye otkhody, ispol'zuemye dlya polucheniya biokompozitsionnykh materialov* [The study of the action of the fungus *Lentinus* (*Panus*) *tigrinus* on wood waste used to obtain biocomposite materials]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya Khimiya. Biologiya. Ekologiya* [News Saratov University. New Series. Series Chemistry. Biology. Ecology], 2013, v. 13, no. 4, pp. 80–85.
- [31] Il'in D.Yu., Il'ina G.V., Garibova L.V., Likhachev A.N. *Posledovatel'naya biokonversiya lignotsellyuloznykh substratov kak sposob realizatsii biotekhnologicheskogo potentsiala gribov* [Sequential bioconversion of lignocellulosic substrates as a way to realize the biotechnological potential of fungi]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2017, v. 51, no. 2, pp. 90–98.
- [32] Kazitsin S.N. *Poluchenie drevesnykh plit bez svyazuyushchikh veshchestv iz mekhanoaktivirovannykh drevesnykh chastits* [Preparation of wood boards without binders from mechanically activated wood particles]. *Dis. Cand. Sci. (Tech.)*. UGLTU, 2018.
- [33] Kazitsin S. N., Bayandin M. A., Ermolin V. N. *Vliyaniye sposobov podgotovki drevesnoy massy na svoystva plitnykh materialov* [Influence of wood pulp preparation methods on the properties of board materials]. *Lesnoy i khimicheskiy komplekсы — problema i resheniya* [Forest and Chemical Complexes-Problems and Solutions]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2014, pp. 81–84.

- [34] Bayandin M.A., Karnaukhov V.E., Namyatov A.V., Ermolin V.N. *Issledovanie vlazhnostnykh deformatsiy pri formirovani plit bez svyazuyushchikh* [Water resistance of wood boards produced without the use of binders]. Lesnoy i khimicheskiy kompleksy — problemy i resheniya: sb. mater. po itogam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Forest and chemical complexes — problems and solutions: collection. mater. based on the results of the All-Russian Scientific and Practical Conference], Krasnoyarsk, October 29, 2021. Krasnoyarsk, 2022, pp. 195–197.
- [35] Ostrikov M.S. *O mekhanicheskom deystvii molekulyarno-poverkhnostnykh sil v protsessakh vysykhaniya i uvlazhneniya dispersnykh i vysokomolekulyarnykh sistem* [On the mechanical action of molecular-surface forces in the processes of drying and wetting of dispersed and high-molecular weight systems]. Mater. VIII Mendeleevskogo s'ezda po obshchey i prikladnoy khimii (sektsiya kolloidnoy khimii) [Mater. VIII Mendeleev Congress of General and Applied Chemistry (Colloid Chemistry Section)] Moscow: AN SSSR, 1961, v. 707, p. 59.
- [36] Ostrikov M.S., Dibrov G.D., Danilova E.P. *O kapillyarnoy kontraktsii pri vysykhanii v plenakh-sloyakh geley i poristykh dispersnykh tel* [On Capillary Contraction during Drying in Film-Layers of Gels and Porous Dispersed Bodies] Doklady Akademii nauk — Rossiyskaya akademiya nauk [Proceedings of the Academy of Sciences. Russian Academy of Sciences], 1958, v. 118, no. 4, pp. 751–754.
- [37] Karnaukhov V.E., Ostryakova V.A. *Vliyanie nachal'noy vlazhnosti na usadku pri sushke plit bez svyazuyushchikh* [Influence of initial humidity on shrinkage during drying of boards without binders]. Molodye uchenye v reshenii aktual'nykh problem nauki [Young Scientists in Solving Current Problems of Science]. Krasnoyarsk: Sibirskiy gosudarstvennyy universitet nauki i tekhnologii imeni akademika M.F. Reshetneva, 2022, pp. 289–291.
- [38] Ermolin V.N., Kazitsin S.N., Bayandin M.A., Namyatov A.V. *Razrabotka rezhima gidrodinamicheskoy aktivatsii drevesnykh chastits s tsel'yu polucheniya plit bez svyazuyushchikh veshchestv* [Development of a regime of hydrodynamic activation of wood particles in order to obtain boards without binders]. Khvoynye boreal'noy zony [Conifers of the boreal zone], 2017, v. 35, no. 3–4, pp. 79–83.
- [39] GOST 10632–2014. *Plity drevesno-struzhechnye. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 10632–2014. Chipboard. Technical conditions]. Moscow: Standardinform, 2014, 16 p.
- [40] Puchkov B.V. *Izmel'chenie syr'ya dlya drevesnykh plit* [Grinding raw materials for wood boards]. Moscow: Lesn. prom-st', 1980, 117 p.
- [41] Modlin B.D., Otlev I.A. *Proizvodstvo drevesnostruzhechnykh plit* [Production of chipboard]. Moscow: Vysshaya shkola, 1977, 216 p.
- [42] GOST 27678–2014 *Plity drevesnye i fanera. Perforatornyy metod opredeleniya sodержaniya formal'degida* [State Standard 27678–2014 Wood boards and plywood. Perforating method for determination of formaldehyde content]. Moscow: Standardinform, 2015, 7 p.

Authors' information

Ostryakova Valentina Aleksandrovna✉ — pg., Head of Laboratory of the Composite Materials and Wood Science department, Siberian State University of Science and Technology named after M.F. Reshetnev, ostryakova_va@sibsau.ru

Ermolin Vladimir Nikolaevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Chair of Composite Materials and Wood Science Technologies of Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev, ermolinvn@sibsau.ru

Bayandin Mikhail Andreevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Composite Materials and Wood Science Technology Department, Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev, bayandinma@sibsau.ru

Received 01.03.2023.

Approved after review 30.05.2023.

Accepted for publication 28.11.2023.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest