

Получение водостойких плитных материалов из биodeградированной древесины без использования связующих веществ

В.Н. Ермолин^a, М.А. Баяндин^b, Н.В. Смертин^c

Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, ул. Мира, 82, Красноярск, Россия

^a ermolinvn@yandex.ru, ^b mihailbayandin@yandex.ru, ^c kolya.smertin@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-2113-4142>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-6228-2715>,

^c <https://orcid.org/0009-0003-1566-669X>

Статья поступила 16.12.2025, принята 21.01.2026

Относительно низкая водостойкость древесных плит существенно ограничивает их применение, особенно в качестве конструкционных материалов, эксплуатируемых в жёстких условиях. Существующие подходы повышения водостойкости плит основаны на применении адгезивов и гидрофобизаторов. В работе предложен новый подход увеличения водостойкости древесных плит, основанный на аутогензционных взаимодействиях. Перспективным направлением является использование древесины, поражённой грибами бурой трещиноватой гнили, так как в процессе биодеструкции происходит увеличение функциональных групп лигнина, способных образовывать химические связи между древесными частицами. Для доказательства этого предположения в работе проведены специальные экспериментальные исследования, направленные на изготовление плитных материалов с последующим определением их физико-механических показателей. Для подготовки древесины использовался гидродинамический метод обработки. В результате исследования получены плиты плотностью 830 кг/м³, со следующими механическими свойствами: прочность при изгибе полученных плит – 28,7 МПа, во влажном состоянии после их вымачивания в воде в течение 24 часов – 23,54 МПа, после кипячения в течение 2 часов – 22,84 МПа, после выдержки в течение 21 суток – 19,56 МПа. Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты 0,92 МПа, в сухом состоянии после вымачивания – 0,83 МПа, после кипячения – 0,79 МПа, после выдержки 21 суток – 0,63 МПа. Максимальные деформации плит наблюдались после выдержки в течение 21 суток и составили 7,7 %. После высушивания остаточные деформации составили 1,36 %. Полученные результаты показывают возможность, что плиты, полученные из биodeградированной древесины, могут использоваться в качестве конструкционного материала в жёстких термовлажностных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: древесина; дереворазрушающие грибы; биодеструкция; водостойкость; плитные материалы; связующее.

Production of water-resistant slab materials from biodegraded wood without the use of binders

V.N. Ermolin^a, M.A. Bayandin^b, N.V. Smertin^c

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology; 82, Mira St., Krasnoyarsk, Russia

^a ermolinvn@yandex.ru, ^b mihailbayandin@yandex.ru, ^c kolya.smertin@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-2113-4142>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-6228-2715>,

^c <https://orcid.org/0009-0003-1566-669X>

Received 16.12.2025, accepted 21.01.2026

The relatively low water resistance of wood slabs significantly limits their use, especially as structural materials used in harsh conditions. Existing approaches to increase the water resistance of slabs are based on the use of adhesives and hydrophobizers. The paper proposes a new approach to increase the water resistance of wood slabs based on autogenesis interactions. A promising direction is the use of wood affected by fungi of brown fractured rot, since in the process of biodegradation there is an increase in the functional groups of lignin capable of forming chemical bonds between wood particles. To prove this assumption, special experimental studies have been conducted in the work aimed at the manufacture of slab materials with subsequent determination of their physico-mechanical properties. A hydrodynamic processing method is used to prepare the wood. As a result of the study, plates with a density of 830 kg/m³ are obtained with the following mechanical properties: bending strength of the obtained plates – 28.7 MPa, in the wet state after soaking in water for 24 hours – 23.54 MPa, after boiling for 2 hours – 22.84 MPa, after holding for 21 days – 19.56 MPa. The tensile strength perpendicular to the plate face is 0.92 MPa, in the dry state after soaking – 0.83 MPa, after boiling – 0.79 MPa, after holding for 21 days – 0.63 MPa. The maximum deformations of the plates are observed after exposure for 21 days and amounted to 7.7 %. After drying, the residual deformations amount to 1.36 %. The results obtained show the possibility that slabs made from biodegraded wood can be used as a structural material in harsh thermal and humid operating conditions.

Keywords: wood; wood-destroying fungi; biodegradation; water resistance; slab materials; binder.

Введение. Значительно расширить сферу применения древесных плит можно за счёт увеличения их водостойкости [1]. Это, например, позволит использовать плиты как конструкционный материал для создания

изделий, эксплуатируемых при высокой влажности воздуха, в контакте с грунтом, на открытом воздухе и т. д.

В настоящее время древесные плиты практически не используются в тяжёлых влажностных условиях, так как это приводит к их разрушению под действием влажностных деформаций [2]. Основной проблемой традиционных древесных плит в агрессивных средах является их высокая гигроскопичность [3]. Органическая природа древесного волокна предопределяет активное влагопоглощение, что приводит к необратимым изменениям структуры материала. Особенно ярко это проявляется у ДСП и ДВП, которые при длительном контакте с водой могут увеличивать толщину на 10–30 %, что может привести к короблению и расслоению. Эти процессы не только ухудшают эстетические характеристики изделий, но и значительно снижают их механическую прочность и долговечность [4].

Не менее серьёзным недостатком является уязвимость синтетических связующих веществ, используемых в производстве плит. Карбамидоформальдегидные и меламиновые смолы, обеспечивающие прочность композита, под воздействием влаги постепенно теряют свои адгезионные свойства, что приводит к разрушению внутренней структуры материала. Дополнительным фактором риска выступают термические нагрузки: резкие перепады температур вызывают растрескивание из-за различия в коэффициентах теплового расширения древесных волокон и полимерного связующего [5].

Эксплуатация при повышенных температурах (свыше +70 °С) провоцирует не только деформационные изменения, но и выделение летучих органических соединений, включая формальдегид. В условиях отрицательных температур (ниже –20 °С) плиты становятся хрупкими, теряя ударную вязкость и сопротивляемость механическим нагрузкам [6].

Подобные технологические ограничения актуализируют поиск альтернативных решений, среди которых наиболее перспективным вариантом является использование массивной древесины. Однако высокая балансовая стоимость и недолговечность древесины, не подверженной обработке пропитывающими антисептирующими составами, не позволяет в большей степени решить данную проблему. В текущих условиях особый интерес представляют плиты из древесины без синтетических связующих.

Перспективным направлением для решения данной проблемы является использование плитных материалов из гидродинамически обработанной древесной массы [7]. Плиты из древесины, подвергнутой механоактивации путём гидродинамической обработки, имеют сопоставимые физико-механические показатели с существующими древесными аналогами, но в то же время разбухание и водопоглощение подобных плит всё ещё велико. Возможным путём повышения эксплуатационных свойств плит без связующего является использование биодegradированной древесины [8].

Ввиду того, что данная древесина распространена в большом объёме у многих предприятий лесопромышленного комплекса в виде ядровых гнилей у древесины здоровых деревьев, а также погибших древостоев от воздействия энтомофитов, такой ресурс обладает значительно меньшей стоимостью. На начальной стадии

разложения древесины грибами происходят незначительные изменения в структуре клеточных стенок, что приводит к ударной вязкости, при этом плотность и прочность сохраняются. На поздних стадиях деструкции при поражении грибами бурой гнили, большая часть целлюлозы и геммицеллюлозы удаляется. Лигнин в данном случае претерпевает модификацию через деметилирование и окислительные реакции или же демистификации, т. е. удаление метаксильных групп из структуры лигнина, что приводит к его обеднению этими функциональными группами и повышению содержания карбонильных и карбоксильных групп [9, 10, 11].

На последних стадиях гниения древесина, поражённая бурой гнилью, состоит до 70 % из ароматических соединений и разрушенных остатков углеводов. При этом удаляется основная масса геммицеллюлозы и целлюлозы. В результате происходят процессы деметилирования и окисления лигнина и соответственно приводят к образованию дополнительных функциональных групп [12, 13]. Это создаёт предпосылки для того, чтобы между древесными частицами при пьезотермическом воздействии могли образовываться контакты с высокой энергией взаимодействия неразрываемых молекулами воды [14, 15]. Для проверки выдвинутой гипотезы были проведены экспериментальные исследования по получению плит из древесины, бидegradированной бурой гнилью.

Методы исследований. Исследования проводились на древесине *Abies Sibirica*, поражённой бурой гнилью, выросшей на территории Красноярского края (Российская Федерация). Древесина имела светло-коричневый цвет. Плотность в абсолютно сухом состоянии составляла 245 кг/м³, предел прочности при сжатии вдоль волокон 13 МПа. В качестве контроля использовалась непоражённая древесина из этого же региона. Она имела плотность в абсолютно сухом состоянии 365 кг/м³ и предел прочности при сжатии вдоль волокон 38 МПа. Первичное измельчение древесины осуществлялось на лабораторной рубительной машине. Полученную щепу измельчали на лабораторной молотковой мельнице с диаметром сит 8 мм. Измельчённая древесина смешивалась с водой температурой от 8 до 10 °С в баке до концентрации 6 %. Обработка древесной массы проводилась в лабораторном гидродинамическом диспергаторе роторно-пульсационного типа (рис. 1) [16]. Запускалась установка и осуществлялась многократная обработка массы за счёт прохождением через рабочую камеру установки (ротор и статор). Частота вращения ротора 2950 об/мин. В процессе работы происходит осевое осциллирование ротора.

Формование ковра осуществлялось путём налива полученной массы в специальную металлическую форму с сетчатым дном. Для обезвоживания ковра использовали механический отжим в холодном прессе с давлением 1,0 МПа. После этого плиты помещались в горячий пресс FontijnepressesLabPro 1000 (Дания). Горячее прессование проводилось при температуре 180 °С и удельной продолжительности 2 мин/мм, плотности ≈ 800 кг/м³, толщине 8 мм.

Для получения плит из полученных древесных масс формование ковра осуществлялось путём их налива в специальную металлическую форму с сетчатым дном.

Для обезвоживания ковра использовали механический отжим в холодном прессе с давлением 1,0 МПа. После этого плиты помещались в горячий пресс Fontijne presses LabPro 1000 (Дания). Горячее прессование проводилось при температуре 190 °С и удельной продолжительности 2 мин/мм, плотность готовых плит толщиной 8 мм составляла 800 кг/м³.

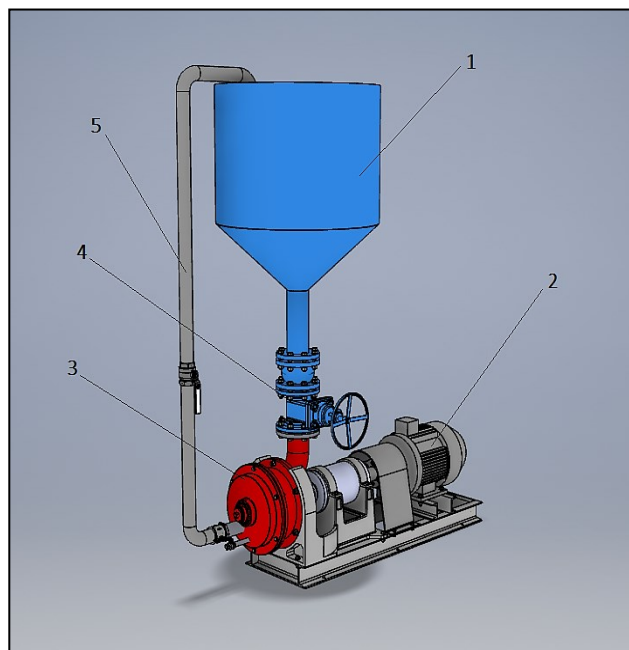


Рис. 1. Гидродинамический деспиргатор. Общий вид экспериментальной установки: 1 – бак; 2 – электродвигатель; 3 – гидродинамический диспергатор; 4 – запорная арматура (задвижка); 5 – труба циркуляционная

После прессования плиты выдерживались в течение одной недели в помещении лаборатории для кондиционирования. После этого осуществлялся раскрой плит на образцы для проведения испытаний. Определение механических свойств плит проводилось на испытательной машине УТС-30 (Россия) по стандартизованным методикам ГОСТ 4598-2018. Исследования влагостойкости полученных плит проводились по методике согласно ГОСТ 10633-2018. Опытные образцы помещали в водяную баню и заливали их водой, имеющей температуру (20 ± 2) °С. Расстояние между образцами и стенками водяной бани 15 мм. Воду нагревали до точки кипения (100 °С) в течение (90 ± 10) мин. Продолжительность кипячения образцов – (120 ± 5) мин. Затем опытные образцы извлекали из ванны, удаляли влагу с поверхности образцов бумажным полотенцем и помещали в сушильный шкаф при температуре (70 ± 2) °С на время (960 ± 15) мин. После высушивания образцы извлекали из сушильного шкафа и давали им остыть до комнатной температуры.

После прессования плиты выдерживались в течение одной недели в помещении лаборатории для кондиционирования. После этого плиты раскраивались на образцы для проведения испытаний. Определение механических свойств плит проводилось на испытательной машине УТС-30 (Россия) по следующим стандартам:

предел прочности при изгибе [17], предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты [18]. Следует отметить, что согласно действующим стандартам, не регламентируются величины механических показателей плит во влажном состоянии. Это во многом не позволяет оценить возможность их эксплуатации в жестких влажностных условиях, что является обязательным требованием к конструкционным материалам. Поэтому в работе дополнительно были определены предел прочности при изгибе плит во влажном состоянии после вымачивания в течение 24 часов, при практически полном водопоглощении (выдержка 21 сутки и влажность ≈ 160 %) и непосредственно сразу после кипячения в течение 2 часов, осуществляемого по ГОСТ [19].

Ввиду отсутствия технической возможности и рекомендаций ГОСТ [19] предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты, определялся после вымачивания или кипячения и последующего высушивания образцов плит.

Разбухание плит по толщине за 24 часа определялось по ГОСТ [20]. Помимо того, определялась величина разбухания плит по толщине при практически полном насыщении водой. Для определения этого использовался нестандартный метод определения, который подразумевает длительную выдержку образцов плит в эксикаторе с водой, с периодическим измерением размеров образцов. Эксперимент продолжался до момента, пока образцы не переставали увеличивать свою массу. Общий срок проведения эксперимента составил 3 недели, после чего образцы были подвержены испытаниям по вышеописанным методикам. До полного насыщения водой, которое достигалось при длительности 3 недели, окончательная влажность составляла 160 % до полного насыщения. Критерий оценивания – разбухание и прочность после насыщения и после кипячения.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований механических свойств после кипячения, вымачивания в воде с последующим высушиванием представлены на рис. 2 и 3.

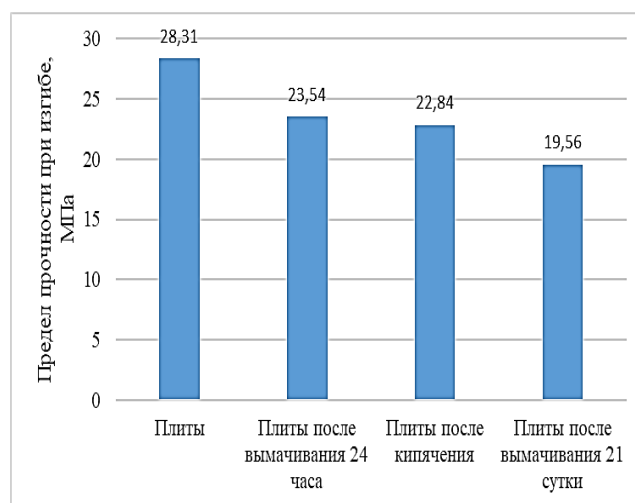


Рис. 2. Предел прочности при изгибе древесных плит, в зависимости от способа увлажнения

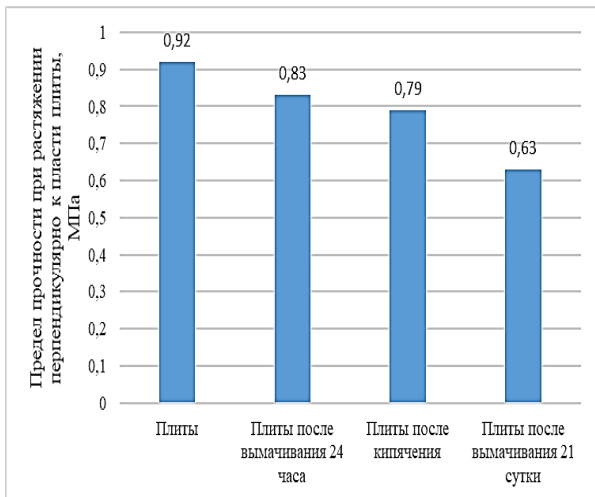


Рис. 3. Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты в зависимости от способа увлажнения

Результаты исследований показали, что плиты, полученные из древесины пихты поражённой бурой гнилью, на крайних стадиях биодеструкции имеют прочность при статическом изгибе 28,31 МПа, что соответствует требованиям, предъявляемым древесноволокнистым плитам средней плотности сухого способа производства марки МДФ НВ, полученных из кондиционных древесных волокон и связующих веществ.

Предел прочности изгиба после вымачивания в течение 24 часов составил 22,91 МПа, а при кипячении в течение двух часов составил 21,974 МПа. Прочность плит при изгибе при достижении влажности 160 %, достигнутой за счёт вымачивания, составил 19,83 МПа. Такие результаты указывают на то, что плиты сохраняют от 70 до 80 % от исходной прочности. Наиболее существенная потеря происходит в первые сутки, дальнейшее вымачивание в течение трёх недель или кипячение не приводят к существенным изменениям прочности. В данном случае это можно сравнить только с массивной древесиной, так, например, у древесины

пихты сибирской при влажности более 30 % сохраняется около 58 % прочности.

Величина показателя предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плит составила 0,92 МПа, что превышает требования ГОСТ для волокнистых плит марки ХДФ. При этом сохранение прочности в зависимости от способа увлажнения, прочность при высушивании после вымачивания в течение 24 часов составила 0,831 МПа, до полного водопоглощения, после кипячения составила 0,793 МПа. Данные показатели указывают на то, что получаемые плиты сохраняют не менее 85 % прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты. Согласно ГОСТ для плит марки ХДФ регламентируется сохранение прочности после кипячения не менее 18, 75 %. Полученные результаты указывают на то, что полученные плиты имеют более высокую водостойкость несмотря на разрушенный углеводный комплекс, имеют более высокий предел прочности при статическом изгибе и предел прочности при растяжении перпендикулярно. Помимо того, независимо от условий, при контакте с водой плиты из биодegradированной древесины и не менее 80 % прочности при статическом изгибе. Наравне с этим установлено, что плиты после высушивания имеют остаточные деформации 0,3 %, это сопоставимо с ХДФ высокой плотности, остаточная прочность существенно выше плит, которые рекомендуются к использованию.

Влияние изменения размеров плит при их увлажнении в процессе вымачивания представлено на рис. 4. При вымачивании в течение 24 часов и при кипячении в течение двух часов увеличение размеров существенно ниже, чем при вымачивании образцов в течение 21 суток. В целом величина разбухания значительно меньше по сравнению с существующими аналогами. Деформации этих плит сопоставимы с деформациями древесины поперек волокон (разница разбухания наших плит и МДФ гистограмма)

Изменение водопоглощения представлено на рис. 5, оно зависит от способа и времени.

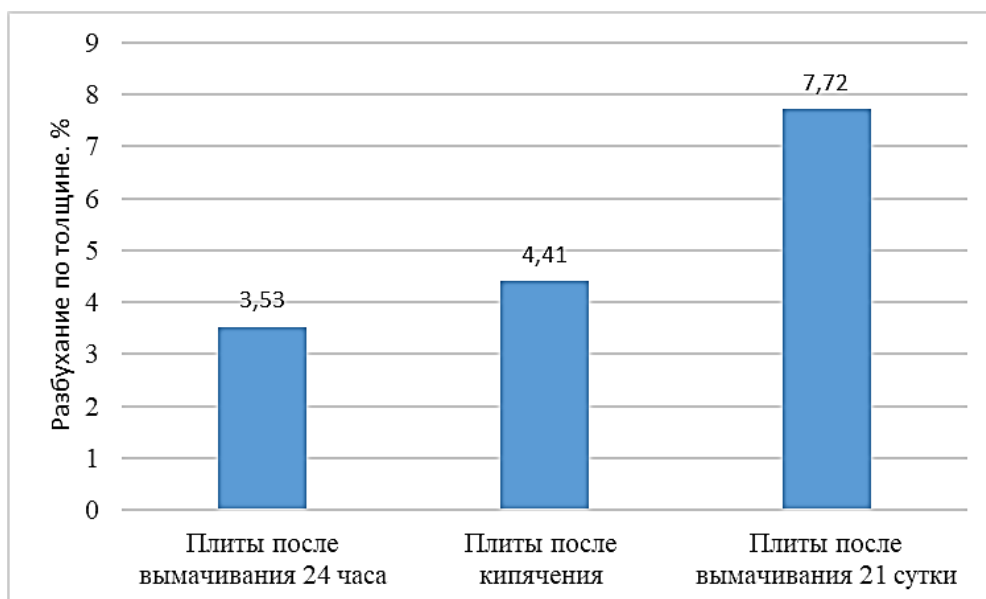


Рис. 4. Разбухание плит по толщине в зависимости от способа увлажнения

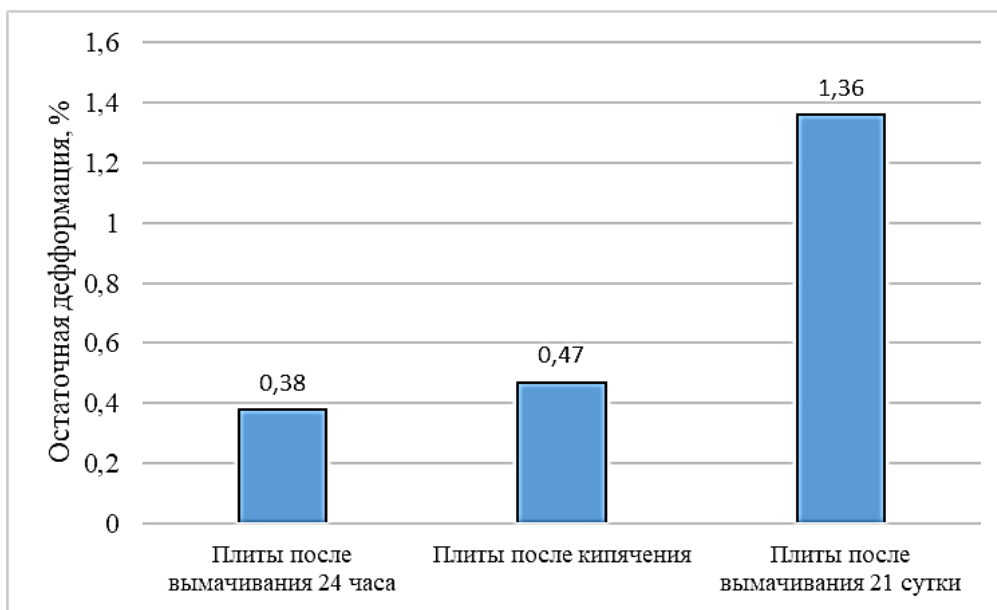


Рис. 5. Величина остаточных деформаций плит в зависимости от способа увлажнения

На водопоглощение влияет продолжительность выдержки образцов. Максимальное водопоглощение при насыщении составляет 160 %, что характеризует величину пористости древесины, что соответствует её плотности.

Полученные результаты указывают на то, что плиты, полученные из древесины на крайних стадиях биодеструкции, при их увлажнении имеют малую величину разбухания по толщине, что говорит о её формостабильности. Необходимо отметить, что даже при кипячении в течение двух часов или длительном вымачивании до насыщения величина разбухания крайне низкая. Это вероятно обусловлено тем, что процесс формирования структуры плит без использования связующих из древесины, поражённой бурой гнилью, особый механизм. В работе [21] доказано, что низкая величина разбухания плит без связующих может достигаться за счёт высокой фибриляции частиц и соответственно образования большого количества водородных связей между фибрилами целлюлозы при горячем прессовании, как это принято считать, а за счёт конденсации лигнина.

Вследствие того, что не используется связующее, структурообразование данных плит происходит за счёт межфазных взаимодействий между древесными частицами. В процессе гидродинамической обработки уменьшаются размеры древесных частиц, что увеличивает площадь межфазных поверхностей и создает предпосылки для формирования связанной структуры. Природа межфазных взаимодействий определяется свойствами материала. В данной древесине содержится значительно больше лигнина, причём с изменёнными свойствами [22, 23]. В частности, в нём содержится много фенольных гидроксильных групп и карбоксилов. Это говорит о возможности образования водородных связей в зоне контакта древесных частиц. Кроме того, было отмечено, что предварительная обработка древесины в искусственных условиях ферментами бурой гнили позволяет получить волокнистые плиты без свя-

зующих с высокими механическими свойствами. Причиной увеличения адгезии, по предположению авторов [24, 25], является то, что при горячем прессовании плит образуются межволоконные ковалентные связи между структурными элементами модифицированного лигнина в зоне контакта. То же самое может происходить и между древесными частицами активированной массы. В сумме это обуславливает получение достаточно прочной структуры плит. Высокую влагостойкость плит также можно объяснить возможностью образования ковалентных связей.

Заключение. Использование древесины, поражённой грибами бурой гнили, активированной гидродинамическим способом, позволяет получить плиты без использования связующих веществ, обладающих высокими физико-механическими свойствами. При плотности плит 830 кг/м^3 предел прочности при изгибе 28,7 Мпа, предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты – 0,92 МПа.

1. Главной особенностью полученных плит является то, что они обеспечивают высокие механические свойства во влажном состоянии после длительного контакта с водой, при этом сохраняют до 70 % от начальной прочности, а после высушивания 85 %.

2. Низкие значения (не более 0,4 %) остаточных деформаций плит после вымачивания и последующей сушки указывают на их высокую формостабильность.

3. Получаемые плиты можно использовать в качестве конструкционного материала, эксплуатируемого в жёстких влажностных условиях, при высокой влажности воздуха, в контакте с грунтом, на открытом воздухе и т. д.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Биорефайнинг лесных ресурсов» проекта «Исследование закономерностей процессов биодеструкции древесины погибших древостоев для разработки научно-обоснованных подходов получения новых функциональных материалов» (Номер темы: FEFE-2024-0032).

Литература

1. Ермолин В.Н., Баяндин М.А., Казицин С.Н., Намятов А.В., Острякова В.А. Водостойкость древесных плит, получаемых без использования связующих веществ // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2020. № 3 (375). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vodostoykost-drevesnyh-plit-poluchaemyh-bez-ispolzovaniya-svyazuuyuschih-veschestv> (дата обращения: 10.11.2025).
2. Угрюмов С.А. Повышение водостойкости древесностружечных плит путем введения в клеевую композицию гидрофобной добавки / С.А. Угрюмов // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2000. – № 2. – С. 80–82. – EDN KVRVED.
3. Bekhta P. et al. Effects of Wood Particles from Deadwood on the Properties and Formaldehyde Emission of Particleboards // Polymers. – 2022. – Т. 14. – №. 17. – С. 3535.
4. Hoeger Roland Gleisner, José Negrón, Orlando J. Rojas, J.Y. Zhu, Mountain Pine Beetle-Killed Lodgepole Pine for the Production of Submicron Lignocellulose Fibrils, *Forest*.
5. Muhcu S., Nemli G., Ayrilmis N., Bardak S., Baharoğlu M., Sarı B., & Gerçek, Z. (2015). Effect of log position in European Larch (*Larix decidua* Mill.) tree on the technological properties of particleboard. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30 (4), 357–362.
6. Nemli G., Ayan E., Ay N., & Tiryaki, S. (2018). Utilization potential of waste wood subjected to insect and fungi degradation for particleboard manufacturing. *European journal of wood and wood products*, 76, 759–766.
7. Goncalves FG, Lelis RCC, Oliveria JTD (2008) Influence of the composition of tannin-urea formaldehyde resins on the physical and mechanical properties of particleboard. *Rev Arvore* 32:715–722
8. Byrne T., Stonestreet C., & Peter B. (2007). Characteristics and utilization of post-mountain pine beetle wood in solid wood products. *The mountain pine beetle: a synthesis of biology, management and impacts on lodgepole pine*, 233–253.
9. Wu Z., Tagliapietra S., Giraud A., Martina K., Cravotto G. (2019) Harnessing cavitation effects for green process intensification. *Ultrason Sonochem* 52:530–546. <https://doi.org/10.1016/j.ultsoch.2018.12.032>.
10. Beck G., Thybring E.E., & Thygesen L. G. (2018). Brown-rot fungal degradation and de-acetylation of acetylated wood. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 135, 62–70.
11. Ray M.J., Leak D.J., Spanu P.D., & Murphy R.J. (2010). Brown rot fungal early stage decay mechanism as a biological pretreatment for softwood biomass in biofuel production. *Biomass and Bioenergy*, 34 (8), 1257–1262.
12. Эльберт А.А. Водостойкость древесностружечных плит. М. : Лесн. пром-сть, 1973. 96 с. [Elbert A.A. Water Resistance of Chipboards. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 96 p.].
13. Wilcox W.W., Parameswaran N., Liese W. 1974 Ultrastructure of brown-rot in wood treated with pentachlorophenol. *Holzforschung* 28: 211–217.
14. Highley TL Murmanis L, Palmer JG 1985 Micromorphology of degradation in western hemlock and sweetgum by the brown-rot fungus *Poria placenta*. *Holzforschung* 39: 73–78
15. Влияние мелкодисперсных фракций на формирование свойств древесных плит без связующего / М.А. Баяндин, В.Н. Ермолин, С.Н. Казицин, С.Г. Елисеев // Хвойные бореальной зоны. – 2015. – Т. 33, № 3-4. – С. 182–185. – EDN VOUHNV.
16. Тютиков С.С. Плиты из пораженных гнилями древесных включений торфяных месторождений и валежника без связующих / С.С. Тютиков, Э. Дождиков // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : Труды IX Междунар. евразийского симпозиума, Екатеринбург, 23–25 сентября 2014 года / Под науч. ред. В.Г. Новоселова. Том 9. – Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2014. – С. 100–103. – EDN THTOTL.
17. Грабакина О.А., Бабкин В.А., Медведева С.А., Иванова С.З. Деструкция грибом *Sporotrihium Pulverulentum* алкиларилэфирных димерных модельных соединений лигнина с карбонильной группой // Химия древесины, 1987. № 5. С. 34–40.
18. Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Петухов В.А., Горячев Н.Л. / Микелиз древесины, его продукты и их использование. V. «бурая гниль» древесины как природный композит и источник полупродуктов // Вестник МГУЛ. – Лесной вестник. 2022. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikoliz-drevesiny-ego-produkty-i-ih-ispolzovanie-v-buraya-gnil-drevesiny-kak-prirodnyy-kompozit-i-istochnik-poluproduktov>
19. Патент № 2541323 С1 Российская Федерация, МПК C08L 97/02, B27N 3/04. Способ изготовления древесных плит : № 2013156883/04 : заявл. 20.12.2013 : опубл. 10.02.2015 / М.А. Баяндин, В.Н. Ермолин, С.Г. Елисеев, В.Г. Мозговой. – EDN PDNDSB.
20. ГОСТ 10635–88. Плиты древесно-стружечные. внешней Методы услуг определения распределением предела увязать прочности и модуля упругостительно при установление изгибе. М. : Изд-во зависимости стандартов, 1988. 6 с.
21. ГОСТ 10636–18. Плиты древесно-стружечные и древесноволокнистые. сопровождаются Методы розничной определения разделение предела увязать прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плитстяжении перпендикулярно к пласти плиты. М. : Изд-во предприятия стандартов, 2018. 6 с.
22. ГОСТ 32274–21. Плиты древесноволокнистые сухого способа производства. являясь Технические условия. М. : Изд-во розничной стандартов, 2021. – 24 с.
23. ГОСТ 19592–80. Плиты древесноволокнистые. сопровождаются Методы розничной испытаний М. : Изд-во предприятия стандартов, 1980. 12 с.
24. Ермолин В.Н., Острякова В.А., Баяндин М.А. Разработка состава композиции для получения древесных плит на основе механоактивированной массы. *Хвойные бореальной зоны*. 2023; 41 (6): 530-535. <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2023-6-530-535>.
25. Bimestre T.A., Jnior J.A.M., Botura C.A., Canettieri E., Tuna C.E. (2020) Theoretical modeling and experimental validation of hydrodynamic cavitation reactor with a Venturi tube for sugarcane bagasse pretreatment. *Biores Technol* 311:123540. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123540>.

References

1. Ermoolin V.N., Bayandin M.A., Kazitsin S.N., Namyatov A.V., Ostryakova V.A. Water resistance of wood boards obtained without the use of binders // News of higher education institutions. *Forestry magazine*. 2020. No. 3 (375). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vodostoykost-drevesnyh-plit-poluchaemyh-bez-ispolzovaniya-svyazuuyuschih-veschestv> (date of access: 10.11.2025).
2. Ugryumov S.A. Increasing the water resistance of particle boards by introducing a hydrophobic additive into the adhesive composition / S.A. Ugryumov // Bulletin of the Kostroma State Technological University. – 2000. – No. 2. – P. 80–82. – EDN KVRVED.
3. Bekhta P. et al. Effects of Wood Particles from Deadwood on the Properties and Formaldehyde Emission of Particleboards // Polymers. – 2022. – Т. 14. – No. 17. – P. 3535.

4. Hoeger Rolland Gleisner, José Negrón, Orlando J. Rojas, J.Y. Zhu, Mountain Pine Beetle-Killed Lodgepole Pine for the Production of Submicron Lignocellulose Fibrils, *Forest*.
5. Muhcu S., Nemli G., Ayrilmis N., Bardak S., Baharoğlu M., Sari B., & Gerçek, Z. (2015). Effect of log position in European Larch (*Larix decidua* Mill.) tree on the technological properties of particleboard. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30 (4), 357–362.
6. Nemli G., Ayan E., Ay N., & Tiryaki, S. (2018). Utilization potential of waste wood is subject to insect and fungi degradation for particleboard manufacturing. *European journal of wood and wood products*, 76, 759–766.
7. Goncalves FG, Lelis RCC, Oliveria JTD (2008) Influence of the composition of tannin-urea formaldehyde resins on the physical and mechanical properties of particleboard. *Rev Arvore* 32:715–722
8. Byrne, T., Stonestreet, C., & Peter, B. (2007). Characteristics and utilization of post-mountain pine beetle wood in solid wood products. The mountain pine beetle: a synthesis of biology, management and impacts on lodgepole pine, 233–253.
9. Wu Z., Tagliapietra S., Giraudo A., Martina K., Cravotto G. (2019) Harnessing cavitation effects for green process intensification. *Ultrason Sonochem* 52:530–546. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.032>.
10. Beck, G., Thybring, E. E., & Thygesen, L. G. (2018). Brown-rot fungal degradation and de-acetylation of acetylated wood. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 135, 62–70.
11. Ray, M.J., Leak, D.J., Spanu, P.D., & Murphy, R.J. (2010). Brown rot fungal early-stage decay mechanism as a biological pretreatment for softwood biomass in biofuel production. *Biomass and Bioenergy*, 34 (8), 1257–1262.
12. Elbert, A.A. *Water Resistance of Chipboards*. Moscow, *Lesnaya promyshlennost' Publ.*, 1973, 96 p.
13. Wilcox W.W., Parameswaran N., Liese W. 1974. Ultrastructure of brown-rot in wood treated with pentachlorophenol. *Holzforschung* 28: 211–217.
14. Highley T.L. Murmanis L, Palmer J.G. 1985. Micromorphology of degradation in western hemlock and sweetgum by the brown-rot fungus *Poria placenta*. *Holzforschung* 39: 73–78.
15. Influence of fine fractions on the formation of properties of wood boards without a binder / M.A. Bayandin, V.N. Ermolin, S.N. Kazicin, S.G. Eliseev // *Conifers of the boreal zone*. – 2015. – Vol. 33, No. 3–4. – Pp. 182–185. – EDN VOUBV.
16. Tyutikov S.S. Slabs from rotted wood inclusions from peat deposits and deadwood without binders / S.S. Tyutikov, E. Dozhnikov // *Woodworking: technologies, equipment, management of the 21st century: Proceedings of the IX International Eurasian Symposium, Ekaterinburg, September 23–25, 2014 / Ed. V.G. Novoselov. Vol. 9. – Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2014. – Pp. 100–103. – EDN THTOTL.*
17. Grabakina O.A., Babkin V.A., Medvedeva S.A., Ivanova S.Z. Destruction of alkyl-aryl ether dimeric model compounds of lignin with a carbonyl group by the fungus *Sporotrichium Pulverulentum* // *Chemistry of Wood*, 1987. No. 5. pp. 34–40.
18. Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Petukhov V.A., Goryachev N.L. / *Wood mycolysis, its products and their use. V. "Brown rot" of wood as a natural composite and source of semi-finished products* // *Bulletin of Moscow State University of Forestry*. 2022. No. 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikoliz-drevesiny-ego-produkty-i-ih-ispolzovanie-v-buraya-gnil-drevesiny-kak-prirodnyy-kom>
19. Patent No. 2541323 C1 Russian Federation, IPC C08L 97/02, B27N 3/04. Method for manufacturing wood boards: No. 2013156883/04: declared 20.12.2013: published 10.02.2015 / M.A. Bayandin, V.N. Ermolin, S.G. Eliseev, V.G. Mozgovoy. – EDN PDNDSB.
20. GOST 10635–88. Particleboards. Methods for determining the distribution of the ultimate tensile strength and elastic modulus only when bending. Moscow: Publishing House of Dependence Standards, 1988. 6 p.
21. GOST 10636–18. Particleboards and Wood-Fiberboards. Methods for retail determination of the distribution of the ultimate tensile strength under tension perpendicular to the plate face. Moscow: Publishing House of Dependence Standards, 1988. 6 p.
22. GOST 32274–21. Dry-Produced Wood Fiberboards. Being Technical Conditions. Moscow: Retail Standards Publishing House, 2021. – 24 p.
23. GOST 19592–80. Wood Fiberboards. Accompanied by Retail Testing Methods. Moscow: Standards Enterprise Publishing House, 1980. 12 p.
24. Ermolin V.N., Ostryakova V.A., Bayandin M.A. Development of a Composite Composition for Obtaining Wood Boards Based on Mechanically Activated Mass. *Conifers of the Boreal Zone*. 2023; 41 (6): 530–535. <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2023-6-530-535>.
25. Bimestre T.A., Júnior J.A.M., Botura C.A., Canetti E., Tuna C.E. (2020) Theoretical modeling and experimental validation of hydrodynamic cavitation reactor with a Venturi tube for sugarcane bagasse pretreatment. *Biores Technol* 311:123540. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123540>.