



ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ ОТ УСЛОВИЙ ПРЕССОВАНИЯ

Наталья Владимировна Коренева¹, Ольга Сергеевна Беушева²,
Данил Дементьевич Ефрюшин³

^{1,2,3} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
² baa7@list.ru

Аннотация. Комплексное использование древесного сырья при механической и химической переработке является достаточно затруднительным процессом: образуются отходы, такие как кора, щепы, лигноцеллюлозные массы и лигносульфонаты, которые можно утилизировать с положительным экономическим эффектом. В данной работе рассмотрена возможность получать плитные материалы непосредственно из отходов производства древесины лиственницы путем гидротермической обработки без добавления канцерогенных связующих компонентов. Изучено влияние условий прессования: давления и температуры – на свойства плитных материалов, а также определены оптимальные условия проведения процесса. Произведен сравнительный анализ свойств (прочность, гидрофобность) полученных плитных материалов с промышленно производимыми аналогами.

Ключевые слова: древесина лиственницы, плитный материал, фенилпропановые единицы, редуцирующие вещества, гидротермическая обработка, лигнин, гемицеллюлозы.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки России на создание и развитие инжинирингового центра в рамках реализации федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты».

Для цитирования: Коренева Н. В., Беушева О. С., Ефрюшин Д. Д. Изучение зависимости эксплуатационных свойств плитных материалов на основе древесины лиственницы от условий прессования // Ползуновский вестник. 2022. № 4. Т. 2. С. 177–183. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.022. EDN: <https://elibrary.ru/WANOWQ>.

Original article

RESEARCH ON THE DEPENDENCE OF THE PERFORMANCE PROPERTIES OF BOARD MATERIALS OF LARCH WOOD ON PRESSING CONDITIONS

Natalia V. Koreneva ¹, Olga S. Beusheva ², Danil D. Efrushin ³

^{1,2,3} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

² baa7@list.ru

Abstract. *The integrated use of raw wood materials in mechanical and chemical processing is a rather complex process: there are such wastes as bark, wood chips, lignocellulosic masses, and liginosulfonates. They can be disposed of with a positive economic effect. We consider the possibility of obtaining board materials directly from larch wood production waste using hydrothermal treatment without carcinogenic binders. The research examined the influence of pressing conditions, particularly pressure and temperature, on the properties of board materials and determined the optimal conditions for this process. We conducted a comparative analysis of the properties (strength and hydrophobic nature) of the obtained board materials with the industrial analogs.*

Keywords: *larch wood, board material, phenyl propane units, reducing agents, hydrothermal treatment, lignin, hemicelluloses.*

Acknowledgements: *The work was supported by a grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the creation and development of an engineering center within the framework of the federal project "Development of infrastructure for Research and Training" of the national project "Science and Universities".*

Для цитирования: Koreneva, N. V., Beusheva, O. S. & Efrushin, D. D. (2022). Research on the dependence of the performance properties of board materials of larch wood on pressing conditions. *Polzunovskiy vestnik*, 4(2), 177-183. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.022. EDN: <https://elibrary.ru/WANOWQ>.

ВВЕДЕНИЕ

Древесина лиственницы в Российской Федерации занимает около 38 % от общего числа древесной биомассы, при этом основная часть данных запасов находится на территории Сибири [1]. Данное сырье является ценным конструкционным материалом, обладающими высокими физико-механическими свойствами, что определяет его продолжительную эксплуатацию [2].

С точки зрения химической переработки древесину лиственницы активно используют для извлечения дигидрокверцетина и арабиногалактана, являющихся биологически активными веществами [3].

Полностью использовать древесное сырье при механической и химической переработке не представляется возможным, в результате чего образуются отходы, такие как кора, щепа, лигноцеллюлозные массы и лигносульфонаты. В связи с этим необходимо решать экологические вопросы, связанные с постоянным накоплением отходов растительного происхождения [4].

Одним из решений данной проблемы является производство древесностружечных и древесноволокнистых плит. Однако при их получении по классической технологии используют канцерогенные фенолформальдегидные смолы, что также негативно сказывается на экологической обстановке [4].

С учетом указанных факторов разработка новых экологически безопасных плитных материалов на основе крупнотоннажных отходов растительного происхождения является актуальной темой для исследования.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследования данной работы являются плитные материалы, полученные путем прессования гидротермически обработанной древесины лиственницы.

В результате такой обработки в исходной древесине происходят глубокие структурные изменения.

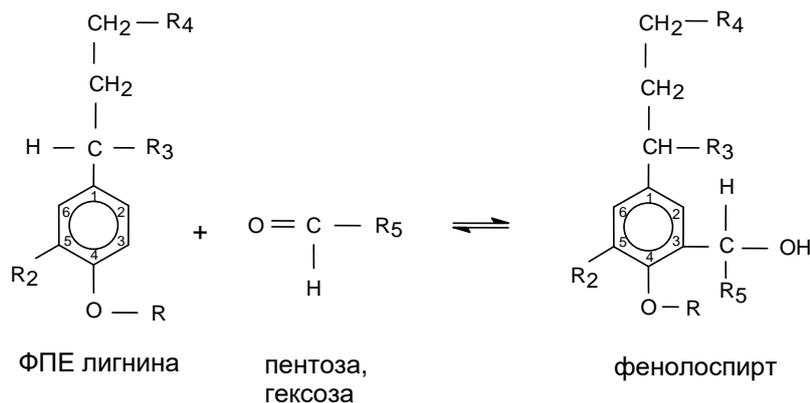
Исходная структура древесины лиственницы представляет собой, помимо линейной целлюлозы, сетку лигнина, которая включает

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННОИЦЫ ОТ УСЛОВИЙ ПРЕССОВАНИЯ

разветвленные цепи гемицеллюлозы. В результате гидротермической обработки в течение 10 минут при температуре 220 °С происходит распад исходного лигноуглеводного комплекса на отдельные фрагменты углеводного и фенольного типа. Гемицеллюлозы гидролизуются с образованием низкомолекулярных водорастворимых моно- и олигосахаридов, именуемых редуцирующими веществами. Данные соединения имеют в своем

составе концевые альдегидные группы с высокой реакционной способностью [6].

Известно, что фенолы и альдегиды реагируют между собой с образованием фенолоформальдегидных смол и молекул воды. Можно предположить аналогичную реакцию между альдегидными группами редуцирующих веществ (пентозанов и гексозанов) и п-оксифенилпропановыми единицами лигнина (ФПЕ) (рис. 1) [7].



где R = H, Alc; R₂ = OCH₃; R₃ = H, OH; R₄ = H, OH; R₅ = C₄H₅(OH)₄, C₅H₇(OH)₅

Рисунок 1 – Реакция образования фенолспирта

Figure 1 - Reaction of phenolspirth formation

Образующиеся фенолспирты в дальнейшем поликонденсируются с образованием пластичных олигомерных смол (рис. 2), которые являются связующим компонентом при прессовании плитного материала, а также придают смеси пластичность.

Под воздействием температуры и давления пластичные олигомеры отверждаются, что повышает гидрофобность и механические свойства плитных материалов.

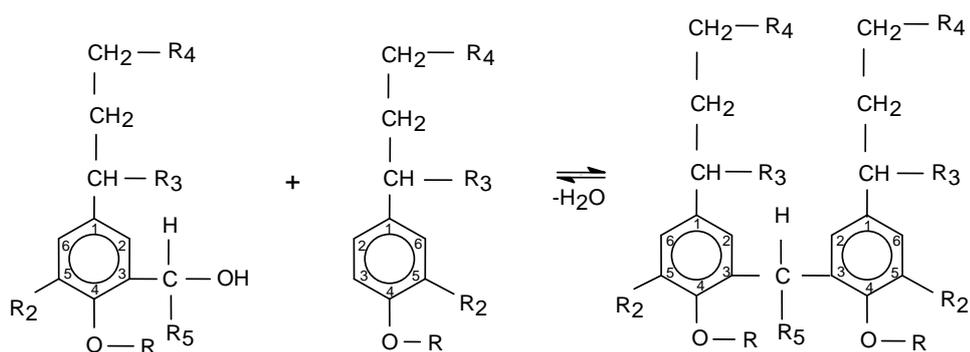


Рисунок 2 – Реакция поликонденсации

Figure 2 - Polycondensation reaction

В процессе поликонденсации фенолспиртов при изготовлении плитного материала методом горячего прессования образуются вода, легколетучие жидкости и газы. Таким

образом, потеря массы после прессования является подтверждающим фактором образования связующего компонента (табл. 1).

Таблица 1 – Потеря массы плитных образцов после прессования (от исходной навески)

Table 1 - Mass loss of plate samples after pressing (from the initial weight)

Температура прессования, °С	100	110	120	130	140	150
Потеря массы после прессования, %	0,61	0,64	0,69	0,87	1,52	1,78

При возрастании температуры в процессе изготовления плитного материала увеличивается потеря массы образцов с 0,61 до 1,78 %, что также может свидетельствовать о возрастании скорости реакции реагентов при прессовании.

В процессе гидротермической обработки древесины лиственницы протекает гидролиз входящих в ее состав гемицеллюлоз до водорастворимых продуктов: олигосахаридов и моносахаридов, концевые звенья которых содержат альдегидную группу, т.е. являются редуцирующими веществами, которые потенциально способны реагировать с фрагментами лигнина, образуя термопластичные смолы. Для подтверждения данной теории в полученных плитах исследовалось количественное содержание редуцирующих веществ, не вступивших в реакции после горячего прессования (таблица 2).

Данное предположение подтверждается тем, что в плитном материале в сравнении с исходной волокнистой массой для прессования заметно снижается количество редуцирующих веществ. Также их остаточное количество зависит от температурного режима прессования: при росте температуры происходит снижение с 12,0 % до 5,1 %.

При проведении процесса горячего прессования плиты подвергаются воздействию как температуры, так и повышенного давления. В таблицах 3 и 4 представлены данные исследований изменения количества

редуцирующих веществ в зависимости от давления. Прессование проводилось при 140 °С в течение 5 минут.

Согласно полученным данным можно установить, что эффект от повышения давления прессования аналогичен воздействию различной температуры. При повышении давления с 2МПа до 6МПа происходит снижение содержания редуцирующих веществ с 11,8 до 6,8 % и наблюдается повышение потери массы образцами с 0,73 до 1,78 %.

При прессовании плитных материалов одним из участников реакции образования термопластичной смолы является лигнин. На реакционную способность в бензольном кольце лигнина большое влияние оказывают присутствующие заместители (фенольные и спиртовые гидроксильные, кетонные, альдегидные, метоксильные группы). Характер замещения положений при четвертом атоме углерода в фенилпропановой единице лигнина различен. Это может быть гидроксил в фенольных единицах, связи О-Аг (4-О-5, 4-О-1) или О-Алк (4-О-б, 4-О-а, в небольшом количестве 4-О-у в нефенольных единицах, 4-О-углерод). Фенольная гидроксильная группа по активирующей способности бензольного кольца занимает одно из ведущих мест, поэтому является контролирующим заместителем. Замещение в первую очередь происходит в пятом положении. В соответствии с эффектом сопряжения активируются также первое и третье положение [8].

Таблица 2 – Влияние температуры горячего прессования на содержание редуцирующих веществ

Table 2 - Effect of hot pressing temperature on the content of reducing substances

Температура прессования, °С	Содержание редуцирующих веществ в плитных материалах, %	Уменьшение содержания редуцирующих веществ в процессе изготовления плитных материалов, %
100	12,0	3,1
110	11,2	4,2
120	9,3	5,9
130	8,9	6,1
140	6,9	7,9
150	5,1	10,0

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННОИЦЫ ОТ УСЛОВИЙ ПРЕССОВАНИЯ**

Таблица 3 – Потеря массы образцами после прессования (от исходной массы навески)
Table 3 - Weight loss of samples after pressing (from the initial weight of the sample)

Давление прессования, МПа	2	3	4	5	6
Потеря массы после прессования, %	0,73	1,19	1,43	1,62	1,78

Таблица 4 – Влияние давления горячего прессования на содержание редуцирующих веществ
Table 4 - Effect of hot pressing pressure on the content of reducing substances

Давление прессования, МПа	Содержание редуцирующих веществ в плитных материалах, %	Уменьшение содержания редуцирующих веществ в процессе изготовления плитных материалов, %
2	11,8	3,6
3	11,2	4,2
4	8,9	6,5
5	7,4	8,0
6	6,8	8,6

Наличие фенольных гидроксильных групп и их количество являются важным фактором протекания реакции взаимодействия между фенилпропановыми единицами лигнина и редуцирующими веществами с образованием фенолоспирта.

Для определения количественного содержания фенольных гидроксидов порош-

кообразная масса плитных материалов выдерживается в органическом растворителе (диоксан) в течение 3 часов при температуре 80–100 °С. В течение заданного времени лигнин, находящийся в исследуемых образцах, переходит в раствор диоксана. Данные по содержанию фенольных гидроксидов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Влияние температуры прессования на содержание фенольных гидроксидов
Table 5 - Effect of pressing temperature on the content of phenolic hydroxyls

Температура прессования, °С	Количество фенольных гидроксидов в плитных материалах, %	
	ОН ₁	ОН ₂
100	0,091	0,019
110	0,148	0,021
120	0,228	0,047
150	1,716	0,284

Условия прессования: давление 53,33 кгс/см², время 5 минут.

Согласно полученным данным (табл. 5), повышение температуры прессования увеличивает число фенольных гидроксидов.

Предположительно увеличение количества фенольных гидроксидов происходит в результате деструкции лигнина под действием температуры и органических кислот (уксусная, муравьиная), которые образуются в результате отщепления ацетильных и метоксильных групп от гемицеллюлоз [9]. Гидролитическая деструкция лигнина происходит

вследствие расщепления простых эфирных связей с образованием новых свободных фенольных гидроксидов.

Одной из основных характеристик получения плит является температура прессования. Известно, что с возрастанием температуры увеличивается скорость реакции, что приводит к увеличению прочностных показателей за счет образования большего числа сшитых структур в композите (табл. 6).

Таблица 6 – Влияние температуры прессования на свойства плит
Table 6 - Influence of pressing temperature on the properties of plates

Температура прессования, °С	Плотность, кг/м ³	Прочность на изгиб, МПа	Разбухание, %	Водопоглощение, %
100	1070	18	33	45
110	1165	19	15	18
120	1172	21	13	16
130	1236	30	7	8
140	1264	48	5	6
150	1235	20	10	9

Условия прессования: давление 53,33 кгс/см², время 5 минут.

При увеличении температуры прессования с 100 до 140 °С прочность плитных материалов достигает значения 48 МПа. Однако при температуре 150 °С прочность снижается до 20 МПа. Из литературных данных известно, что большинство химических реакций чаще всего обратимы [9]. Это означает, что одновременно протекают два процесса: образование продукта (сшитой смолы) и его разложение при взаимодействии с отщепившимся низкомолекулярным продуктом. Кроме того, при повышении температуры с ростом скорости реакции увеличивается вероятность деструкции. Поэтому предполагается, что причиной снижения прочности может являться деструкция полученной смолы под действием воды, образующейся при реакции взаимодействия редуцирующих веществ и фрагментов лигнина с образованием фенолоспиртов либо температуры.

Также наблюдается зависимость плотности материала от температуры прессования (таблица 6). С ростом температуры возрастает число сшитых структур в материале, что приводит к увеличению прочностных показателей плит. При температуре 140 °С плитный материал имеет самые высокие показатели плотности 1264 кг/м³ и прочности 48 МПа. Водостойкость плитного материала также увеличивается с ростом температуры прессования, т.к. с увеличением числа сшитых структур проникновение воды внутрь структуры затруднено вследствие стерических факторов.

Зависимость свойств плитного материала от давления прессования представлена в таблице 7. Анализ полученных данных позволяет выявить аналогию зависимости свойств плит от температуры прессования (таблица 6).

Таблица 7 – Влияние давления прессования на свойства плит
Table 7 - Influence of pressing pressure on the properties of plates

Давление прессования, МПа	Плотность, кг/м ³	Прочность на изгиб, МПа	Разбухание, %	Водопоглощение, %
2	1002	12,5	16,0	29,5
3	1088	20,3	15,6	27,0
4	1176	23,0	12,8	14,3
5	1235	33,9	10,0	9,2
6	1311	33,4	7,3	4,0

Плитные материалы на основе древесины лиственницы, полученные методом горячего прессования, по основным эксплуатационным характеристикам: прочность при

статическом изгибе и разбухание (таблица 8) превосходят показатели промышленно производимых древесностружечных плит [10].

Таблица 8 – Сравнительная оценка свойств плитных материалов на основе древесины лиственницы и производимых древесностружечных плит (ГОСТ 10632-2007)

Table 8 - Comparative assessment of the properties of slab materials based on larch wood and manufactured particle boards (HOST 10632-2007)

Свойство плитного материала	Плитные материалы на основе древесины лиственницы	Древесностружечные плиты
Плотность, кг/м ³	1000-1315	550-820
Разбухание по толщине, %	32-7	33-22
Прочность при статическом изгибе, МПа	10-49	14-16

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что, регулируя технические параметры прессования (температуру и давление), можно получить плиты на основе лиственницы с широким диапазоном свойств. Отсутствие канцерогенной фенолформальдегидной смолы позволяет использовать данный продукт в любых отраслях строительства.

В ходе работы было изучено:

- влияние температуры и давления горячего прессования на изменение содержания

количества редуцирующих веществ и фенольных гидроксидов;

- влияние температуры и давления горячего прессования на эксплуатационные характеристики плит.

Выбраны оптимальные условия прессования плитных материалов: температура 140 °С, давление 5 Мпа.

В результате исследования установлено:

- прочность и плотность плитного материала возрастает с увеличением температуры и давления горячего прессования;

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ ОТ УСЛОВИЙ ПРЕССОВАНИЯ

- плотность и водостойкость плитного материала имеет прямопропорциональную зависимость.

В ходе сравнительной характеристики плитных материалов на основе лиственницы и древесностружечных плит показано, что первые имеют лучшие показатели плотности, разбухания и прочности при изгибе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уголев, Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. – М. : МГУЛ, 2007. – 351 с.
2. Бокшанин, Ю.Р. Обработка и применение древесины лиственницы. – М. : Лесная промышленность, 1982. – 216 с.
3. Кузнецов, Б.Н. Некоторые актуальные направления исследований в области химической переработки древесной биомассы и бурых углей // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – № 9. – С. 443–459.
4. Бабкин, В.А., Иванова, С.З., Федорова, Т.Е. [и др.]. Научные основы технологии комплексной переработки биомассы лиственницы // Химия растительного сырья. – 2007. – № 3. – С. 9–21.
5. Никифоров, Е.П. Древесно-волоконная плита (ДВП): технология изготовления, разновидности, преимущества, недостатки и применение / Е.П. Никифоров // Современные научные исследования и инновации. – 2019. – № 7 (99). – С. 9. – EDN YBLXZH.
6. Терентьева, Э.П., Удовенко, Н.К., Павлова, Е.А. Химия древесины, целлюлозы и синтетических полимеров : учеб. пособие. – СПбГТУРП. – СПб., 2015. – Ч. 2. – 83 с.
7. Overend, R.P. Fractionation of lignocellulosics by steam-aqueous pretreatments [Text] / R.P. Overend, E. Chomet // Phil. Trans. Roy. London. – Vol. A321. – P. 523–536.
8. Рязанова, Т.В. Химия древесины : учеб. пособие для студентов. [Текст] / Т.В. Рязанова, Н.А. Чупрова, Е.В. Исаева // Красноярск : КГТА. – 1996. – 358 с.
9. Структура и физико-химические свойства целлюлоз и нанокмозитов на их основе / под ред. Л.А. Алешиной, В.А. Гуртова, Н.В. Мелех. – Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2014. – 240 с.
10. ГОСТ 10632–2007. Плиты древесностружечные. Технические условия. – Взамен ГОСТ 10632-89; введ. 2009-01-01. – М. : Стандартинформ, 2007. – 12 с.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 10.10.2022; одобрена после рецензирования 30.11.2022; принята к публикации 15.12.2022.

The article was received by the editorial board on 10 Oct 2022; approved after editing on 30 Nov 2022; accepted for publication on 15 Dec 2022.

Информация об авторах

Н. В. Коренева – к.х.н., старший преподаватель кафедры ХТ АлтГТУ.

О. С. Беушева – к.т.н., доцент кафедры ХТ АлтГТУ.

Д. Д. Ефрюшин – к.х.н., старший преподаватель кафедры ХТ АлтГТУ.

REFERENCES

1. Ugolev, B.N. (2007). Wood science and forest commodity science. M. : MGUL. (In Russ).
2. Bokshinin, Yu.R. (1982). Processing and application of larch wood. M. : Forest industry. (In Russ).
3. Kuznetsov, B.N. (2001). Some current research directions in the field of chemical processing of wood biomass and brown coals. *Chemistry in the interests of Sustainable Development*, (9). 443-459. (In Russ).
4. Babkin, V.A., Ivanova, S.Z., Fedorova, T.E. [et al.]. (2007). Scientific bases of the technology of complex processing of larch biomass. *Chemistry of vegetable raw materials*. (3). 9-21. (In Russ).
5. Nikiforov, E.P. (2019). Wood-fiber board (fiberboard): manufacturing technology, varieties, advantages, disadvantages and application. Modern scientific research and innovation. 7(99). 9. EDN YBLXZH. (In Russ).
6. Terentyeva, E.P., Udoenko, N.K. & Pavlova, E.A. (2015). Chemistry of wood, cellulose and synthetic polymers : textbook. SPbGTURP. St. Petersburg, Part 2. (In Russ).
7. Overend, R.P. & Chomet, E. (2017). Fractionation of lignocellulosics by steam-aqueous pretreatments. *Phil. Trans. Roy. London*. (A321). 523-536.
8. Ryzanova, T.V., Chuprova, N.A. & Isaeva, E.V. (1996). Chemistry of wood: A textbook for students. Krasnoyarsk: KGTA. (In Russ).
9. Alyoshina, L.A., Gurtova, V.A. & Melekh, N.V. (2014). Structure and physico-chemical properties of celluloses and nanocomposites based on them / edited by. Petrozavodsk : Publishing House of PetrSU. (In Russ).
10. Chipboard slabs. Technical conditions. (2007). *HOST 10632-2007*. introduction. 2009-01-01. Moscow : Standartinform. (In Russ).

Information about the authors

N. V. Koreneva - Ph.D., senior lecturer of the Department of HT AltSTU.

O. S. Beusheva - Ph.D., Associate Professor of the Department of HT AltSTU.

D. D. Efyushin - Ph.D., Senior lecturer of the Department of HT AltSTU.