

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 1 (96). С. 163–168.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 1 (96). P. 163–168.

Обзорная статья

УДК 674.039

DOI: 10.51318/FRET.2026.96.1.018

МОДИФИКАЦИЯ ДРЕВЕСИНЫ: МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ

Матвей Сергеевич Чекасин¹, Ирина Валерьевна Яцун²

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет,

Екатеринбург, Россия

¹ chekasin01gto10v@gmail.com

² yatsuniv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3195-2410>

Аннотация. В статье приводится анализ различных методов модификации древесины с акцентом на их преимущества и недостатки. Рассматриваются физико-механические свойства древесины, полученные в результате ее модифицирования, а также области потенциального применения получаемых материалов. Особое внимание уделяется технологическим аспектам и научным обоснованиям, лежащим в основе каждого из описанных методов модифицирования. По результатам проведенного обзора сделан вывод о том, что наиболее эффективным способом модифицирования древесины является механохимический, сочетающий в себе несколько технологических операций и позволяющий повысить как физико-механические показатели, так и эстетические свойства древесины. Предлагается провести эксперименты по модифицированию древесины разными комбинациями известных способов, что предположительно должно дать результаты, на которые можно будет опереться в процессе дальнейших исследований. В связи с тем, что в настоящее время отсутствуют четкие данные о резонансных свойствах модифицированной древесины, предлагается провести исследования еще и в этом направлении.

Ключевые слова: способы модификации древесины, модифицирование древесины, химическая модификация древесины, термическая модификация древесины, механохимическое модифицирование

Для цитирования: Чекасин М. С., Яцун И. В. Модификация древесины: методы и подходы // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 1 (96). С. 163–168.

Review article

WOOD MODIFICATION: METHODS AND APPROACHES

Matvey S. Chekasin¹, Irina V. Yatsun²

^{1,2} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ chekasin01gto10v@gmail.com

² yatsuniv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3195-2410>

Abstract. The article provides an analysis of various methods of wood modification, focusing on their advantages and disadvantages. It examines the physical and mechanical properties of wood obtained through modification, as well as the potential applications of the resulting materials.

Special attention is given to the technological aspects and scientific foundations underlying each of the described modification methods. Based on the results of the review, it was concluded that the most effective method of wood modification is the mechanochemical method, which combines several technological operations and allows for the improvement of both the physical and mechanical properties and the aesthetic qualities of wood. It is proposed to conduct experiments on wood modification using different combinations of known methods, which should provide results that can be used as a basis for further research. However, due to the lack of clear data on the resonance properties of wood, further research is needed.

Keywords: wood modification methods, wood modification, chemical modification of wood, thermal modification of wood, mechanochemical modification

For citation: Chekasin M. S., Yatsun I. V. Wood modification: methods and approaches // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 1 (96). P. 163–168.

Введение

Российская Федерация занимает второе место в мире по запасам древесины после Бразилии. В лесах нашей страны находится значительная часть мировых древесных запасов, причем особое значение имеют хвойные породы, порядка 75 %, доля лиственных пород составляет около 25 %, причем из них 20 % приходится на мягколиственные (осина, липа, ольха, береза) и всего 5 % – на твердолиственные породы, такие как дуб, бук, граб, ясень и др. Как известно, древесина мягколиственных пород значительно уступает по своим физико-механическим свойствам древесине твердолиственных пород. В связи с этим древесина мягколиственных пород менее востребована в деревоперерабатывающей промышленности (Николин и др., 2012).

В России давно обсуждается вопрос эффективного использования древесины мягколиственных пород. В настоящее время важно улучшить их свойства, для того чтобы они могли заменить более дорогую древесину твердых пород. Это увеличит спрос на мягколиственные материалы и расширит их применение в производстве.

Анализ российского и мирового опыта показывает, что решить эту задачу можно с помощью технологии модифицирования древесины. Модифицирование древесины – это процесс направленного изменения физико-механических, теплофизических, триботехнических, биохимических, огнезащитных свойств древесины применительно к условиям эксплуатации изделий из нее (ГОСТ 23944–80).

В настоящее время разработано много способов улучшения свойств древесины. Основными среди них являются термомодификация, химическая модификация и механохимическое модифицирование. Рассмотрим подробно каждый из них.

Термомодификация является самым экологичным способом модифицирования древесины (рис. 1). Она проводится при высокой температуре в диапазоне от 140 до 220 °С в специальных камерах. Внешний вид образцов древесины после обработки данным методом представлен на рис. 2.

Механизм термомодификации работает следующим образом: в результате теплового воздействия в древесных материалах происходят реакции деструкции компонентов древесины (гемицеллюлозы, лигнина, целлюлозы).

Термохимическая устойчивость составных частей древесины неодинакова. Быстрее всего разрушаются пентозаны (наиболее устойчив лигнин), наименее термостойким компонентом, судя по температуре начала потери массы, является ксилан, а наиболее термостойкой – целлюлоза. Лигнин занимает промежуточное положение, так как уже в момент его плавления (при температуре 180 °С) в нем происходят конденсационные превращения, а при температуре выше 200 °С начинается деструкция с образованием летучих веществ. Одним из основных компонентов гемицеллюлоз является ксилан. В ксилане по мере повышения температуры уменьшается доля высокомолекулярной фракции и увеличивается доля низкомолекулярной. Исследование термохимической деструкции ксилана березовой древесины при низких температурах (155 и 175 °С)



Рис. 1. Термомодификация древесины
Fig. 1. Thermal modification of wood



Рис. 2. Образцы термомодифицированной древесины
Fig. 2. Samples of thermally modified wood

показало, что уже при этих температурах отмечаются изменение макромолекулы ксилана вследствие разрыва гликозидных связей в отдельных ослабленных местах и нарушение межмолекулярных ассоциированных связей с образованием олигосахаридов со свободными редуцирующими группами без глубокого разрушения вещества.

Область, в пределах которой происходит снижение степени полимеризации, а потеря массы идет с незначительной скоростью, можно приблизительно ограничить температурами 140–220 °С. Бурный распад целлюлозы с интенсивной потерей массы начинается при температуре около 270–280 °С. Этим объясняется максимальная температура термомодификации древесных материалов, не превышающая 250 °С.

Различные способы температурного воздействия (вакуум-кондуктивный метод, нагрев топочными газами, водяным паром, в органических жидкостях) на широкий ассортимент древесных материалов (пиломатериалы, шпон, измельченные древесные частицы) обусловили развитие новых технологий и аппаратных оформлений процесса термомодификации (Термомодификация..., 2014).

В результате термомодифицирования древесины:

- снижается равновесная влажность за счет изменения химического состава клеток древесины, так как поглощается меньшее количество воды стенками клеток;

- повышается устойчивость к биологическому поражению за счет снижения возможности образования поли- и моносахаридов, являющихся питательной средой для развития дереворазрушающих грибов;

- повышается стабильность размеров за счет снижения гигроскопичности древесины.

Химическая модификация древесины осуществляется разными методами, такими как ацилирование, алкилирование, карбоксиметилирование, бензилирование, цианэтилирование, фурфуляция, взаимодействие с изоцианатами, эпоксидами этилена, пропилена, бутилена, эпихлоргидрином и формальдегидом, обработкой различными полимерами (Базарнова и др., 2004). Подробно остановимся на методах ацетилирования и фурфуляции древесины.

Ацетилирование древесины – это метод обработки, при котором гидроксильные группы целлюлозы и лигнина взаимодействуют с ангидридом уксусной кислоты. В результате этерификации гидроксильных групп происходит гидрофобизация древесины (Ацетилирование древесины, 2025).

Технологический процесс ацетилирования древесины состоит из нескольких стадий. Вначале древесина влажностью от 8 до 10 % погружается в емкость с раствором уксусной кислоты. На втором этапе происходит повышение давления в емкости от 0,2 до 2 МПа в течение 300 мин. На третьей стадии удаляется избыток ацетилирующей жидкости. Четвертой стадией является введение

флюида до тех пор, пока не начнется экзотермический процесс. Для эффективности реакции необходимо поддерживать температуру на уровне не ниже 180 °С. Заключительный этап процесса сводится к выпариванию флюида в условиях вакуума, что способствует завершению химических превращений и получению продукта с заданными характеристиками.

Ацелирование древесины приводит к ряду значительных повышений показателей свойств: стойкость и стабильность размеров, повышение устойчивости к воздействию ультрафиолетового излучения, изменение оттенка цвета (в зависимости от породы древесины), что положительно влияет на эстетические и декоративные свойства древесины. Внешний вид образца ацелированной древесины представлен на рис. 3 (Ацелирование древесины, 2025). Такая древесина применяется не только в декоративных целях, но и в серьезных инженерно-строительных проектах. На рис. 4 представлен деревянный мост, изготовленный из клееного соснового ацелированного бруса (Нидерланды).

Фурфуляция древесины – это метод пропитки древесины в вакууме фурфуроловым спиртом с последующими консервацией и сушкой, в результате чего внутри структуры древесины образуется фурановый полимер. Этот способ является зарубежной разработкой и с 2004 г. активно используется компанией Kebony (Норвегия).



Рис. 3. Внешний вид образца ацелированной древесины
Fig. 3. Appearance of an acetylated wood sample

Данный процесс состоит из нескольких этапов. На первом этапе происходит пропитка заготовок фурфуроловым спиртом под давлением от 0,01 до 1,3 МПа, за счет чего протекает реакция полимеризации спирта. На втором этапе полученные заготовки высушиваются в вакуумных сушильных камерах и консервируются. Конденсат, образовавшийся при этом, собирается и используется повторно как разбавитель пропитываемой жидкости (Термическая и химическая модификация..., 2025). В конечном результате древесина получает более высокую прочность, биостойкость, становится формостабильной и приобретает покрытие битумного цвета.

Механохимическое модифицирование древесины. Этот процесс заключается в пропитке древесины модификаторами (преимущественно на основе карбамида, аммиака) с последующей термообработкой или прессованием и высушиванием при переменном давлении.

Модификатор – это вещество, способствующее улучшению свойств обрабатываемого материала (Галактионов и др., 2017). Модифицирование древесины методом прессования осуществляется за счет уменьшения объема материала путем механического воздействия. Этот процесс позволяет комплексно повысить прочностные свойства и износостойкость древесины (Шамаев, 2007). Существует два основных метода модифицированной древесины данным способом: это дестам и лигнамон.



Рис. 4. Мост, изготовленный из клееного соснового ацелированного бруса (Нидерланды)
Fig. 4. Bridge made of glued pine acetylated square log (the Netherlands)

Дестам (древесина, стабилизированная амидами) (Коротаев, Клименко, 1983) производят из древесины мягких лиственных пород, которая обрабатывается раствором мочевины концентрацией 30 % способом горяче-холодных ванн. Затем пропитанную древесину уплотняют и высушивают при температуре 100 °С с последующей высокотемпературной обработкой в течение 3–5 ч при температуре 170 °С. Такая обработка применяется для придания формоустойчивости древесине в условиях действия переменной влажности, а также повышения показателя предела прочности при статическом изгибе.

Лигнамон – это прессованная древесина, в которой в качестве пластификатора использован аммиак. Далее пластифицированную древесину уплотняют и высушивают под давлением 0,5–1,5 МПа в течение 40–120 ч (Коротаев, Клименко, 1983). В результате модифицирования происходит изменение цвета в зависимости от породы (в частности, дуб становится похожим на мореный дуб, береза приобретает оттенки ореха), выявляется и подчеркивается структура древесины, что повышает ее эстетические свойства. Самым важным моментом является то, что древесина, обработанная таким способом, приобретает повышенные прочностные характеристики.

Выводы

По результатам проведенного литературного обзора можно сделать следующие выводы.

1. Способы модифицирования древесины, рассмотренные в данной статье, в основном направлены на повышение таких физико-механических свойств, как прочность, плотность, формостабильность, биостойкость.

2. Наиболее эффективным способом модифицирования является механохимический способ, который сочетает в себе несколько процессов, позволяющих повысить физико-механические и эстетические свойства древесины. В то же время он является самым затратным по сравнению с химической модификацией и термомодификацией древесины.

3. В связи с широким спектром возможных способов модификации древесины представляется целесообразным провести исследования по модифицированию древесины мягколиственных пород (ольха, береза, осина, липа) с целью комплексного изучения их физико-механических характеристик.

4. Отдельно имеет смысл провести изучение резонансных свойств модифицированной древесины уже имеющимися способами, что даст более детальное описание изменения физических свойств.

Список источников

- Ацелирование древесины // Промышленные технологии : [сайт]. URL: <https://tehnology-pro.ru/acetilirovanie-drevesiny.html> (дата обращения: 25.09.2025).
- Базарнова Н. Г., Катраков И. Б., Маркин В. И. Химическое модифицирование древесины // Российский химический журнал. 2004. Т. XLVIII, № 3. С. 108–115.
- Галактионов О. Н., Хюнинен И. А., Давыдов Н. Б. Механохимическая модификация древесины // Научные исследования: теория, методика и практика : матер. III Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2017. Т. 1. С. 23–25.
- ГОСТ 23944–80. Древесина модифицированная. Термины и определения. URL: https://ros gosts.ru/file/gost/01/040/gost_23944-80.pdf (дата обращения: 25.09.2025).
- Коротаев Э. И., Клименко М. И. Использование мягкой лиственной древесины. М. : Лесн. пром-сть, 1983. 129 с.
- Николин М. Е., Шейкман Д. В., Кошелева Н. А. Улучшение эксплуатационных свойств мягколиственных пород древесины модифицированием // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. VIII Всерос. науч.-техн. конф. студ. и аспирантов и конкурса по программе «Умник». Екатеринбург, 2012. С. 260–262.

- Термическая и химическая модификация древесины // Леспроминформ : [сайт]. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1049> (дата обращения: 25.09.2025).
- Термомодификация древесных материалов / Д. Ф. Зиятдинова, Д. А. Ахметова, А. Л. Тимербаева, А. Р. Хабибуллина // Вестник Казанского технологического университета. 2014. С. 94–96.
- Шамаев В. А. Модифицирование древесины : учеб. пособие. Воронеж : ВГЛТА, 2007. С. 385.

References

- Acetylation of wood // Industrial Technology : [website]. URL: <https://tehnology-pro.ru/acetilirovanie-drevesiny.html> (accessed 25.09.2025).
- Bazarnova N. G., Katrakov I. B., Markin V. I. Chemical modification of wood // Russian Chemical Journal. Vol. XLVIII, № 3. P. 108–115. (In Russ.)
- Galaktionov O. N., Hunninen I. A., Davydov N. B. Mechanochemical modification of wood. Scientific research: theory, methodology and practice : Collection of materials of the III International Scientific and Practical conference. Cheboksary, 2017. P. 23–25. (In Russ.)
- GOST 23944–80. Modified wood. Terms and definitions. URL: https://rosogosts.ru/file/gost/01/040/gost_23944-80.pdf (accessed 25.09.2025).
- Nikolin M. E., Sheikman D. V., Kosheleva N. A. Improving the operational properties of soft-leaved wood species by modification // Scientific creativity of youth – to the Russian forest complex : Materials of the VIII All-Russian Scientific and Technical conference of students and postgraduates and the competition under the program “Umnik”. Yekaterinburg, 2012. P. 260–262. (In Russ.)
- Shamaev V. A. Modification of wood : study guide. Voronezh : VSUFT, 2007. 385 p.
- Thermal and chemical modification of wood // Lesprominform : [website]. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1049> (accessed 25.09.2025).
- Thermomodification of wood materials / D. F. Ziatdinova, D. A. Akhmetova, A. L. Timerbayeva, A. R. Khabibullina // Bulletin of Kazan Technological University. 2014. P. 94–96. (In Russ.)

Информация об авторах

М. С. Чекасин – аспирант;
И. В. Яцун – доктор технических наук, доцент.

Information about the authors

M. S. Chekasin – Postgraduate Student;
I. V. Yatsun – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 21.10.2025; принята к публикации 25.11.2025.
The article was submitted 21.10.2025; accepted for publication 25.11.2025.
