

УДК 674. 048

**А. Ю. Антоник, О. К. Леонович**

Белорусский государственный технологический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

В работе исследуется влияние процесса термомодификации на свойства древесины для четырех пород дерева (сосна, лиственница, дуб и ясень). Исследования образцов с помощью электронного микроскопа показали значительные изменения в структуре древесины. Проведен анализ основных физико-механических свойств термомодифицированной древесины. В ходе его обнаружено, что предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон для образцов всех пород уменьшился на 20,3–32,3%, но данные значения находятся в пределах нормативных ограничений. Также установлено, что влажность и влагопоглощение термомодифицированной древесины находятся в пределах нормативных ограничений. Методом газо-жидкостной хроматографии проведен анализ выбросов в атмосферу химически несвязанных веществ и выделяющихся в результате термообработки древесины. Установлено, что при термообработке и хранении выделяется вещество 2-го класса опасности – псевдокумол.

**Ключевые слова:** термомодифицированная древесина, физико-механические свойства, прочность, псевдокумол.

**A. Yu. Antonik, O. K. Leonovich**

Belarusian State Technological University

**DEVELOPMENTS OF THERMALLY MODIFIED WOOD**

The influence of the thermomodification process on the properties of wood for four types of wood (pine, larch, oak and ash) is investigated. The study of samples using an electron microscope showed significant changes in the structure of the wood. The analysis of the basic physical and mechanical properties of thermally modified wood has been carried out. The analysis showed that the tensile strength of the wood during compression along the fibers for samples of all rocks decreased by 20.3–32.3%, but these values are within the limits of regulatory constraints. It has also been established that the humidity and moisture absorption of thermally modified wood are within the limits of regulatory restrictions. The gas-liquid chromatography method was used to analyze the emissions of chemically unbound substances into the atmosphere and the resulting wood heat treatment. It has been established that during heat treatment and storage, a substance of hazard class 2 is released – pseudocumene.

**Key words:** thermally modified wood, physical and mechanical properties, strength, pseudocumene.

**Введение.** Во всем мире тенденции развития новых технологий в области строительных материалов, в частности древесины, примерно схожи. Создание такого материала, как термомодифицированная древесина является одним из передовых направлений в технологии переработки древесины [1].

Термическое модифицирование древесины позволяет повысить покупательскую привлекательность пиломатериала благодаря повышению формоустойчивости и биостойкости, снижению гигроскопичности, а также улучшению декоративных качеств недорогих пород.

Сегодня повышенный интерес производителей к термомодифицированной древесине обусловлен тем, что термическое модифицирование придает ей свойства, которые невозможно получить при традиционной сушке. Термомодифицированная древесина практически не впитывает воду, вследствие чего изделия из нее могут сохранять свою форму при изменении влажности, устойчива к гниению без дополнительной обработки защитными средствами,

приобретает в ходе обработки новые цветовые решения по всей глубине. Поэтому исследование физико-механических свойств такой древесины является актуальным вопросом, требующим решения.

В различных литературных источниках большое внимание уделяется исследованиям структуры древесины, ее физико-механическим характеристикам, биостойкости, которые являются важными показателями при ее эксплуатации [2–5].

**Основная часть.** Термомодификация древесины представляет собой специальную технологию ее термической обработки. Древесина в специальной установке проходит сушку в течение 12 сут. до влажности 4–6%. Затем установка под компьютерным управлением переходит в режим термомодификации древесины. Древесина нагревается до 180°C в результате чего сгорают сахар и углеводы, разрушается лигнин. При этом происходит уплотнение древесины, умирают споры грибов, закупориваются клетки древесины [6–9].

Для определения структурных изменений термомодифицированной древесины сосны был использован сканирующий электронный микроскоп JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201JEOL. Для испытания применялись образцы размером 10×10×10 мм. Пучок электронов (электронный зонд) взаимодействует с приповерхностным участком образца глубиной менее нескольких микрон. В результате взаимодействия появляются многочисленные сигналы, которые можно обнаружить с помощью разнообразных детекторов для получения информации об образце.

Методом сканирующей электронной микроскопии были выявлены следующие изменения в структуре древесины, являющиеся результатом термомодифицирования:

- стенки ранних трахеид уменьшились в 2 раза;
- на тангенциальном срезе выявлено расплавление стенок окаймленных пор;
- около сердцевинного луча уменьшились мелкие окаймленные поры.

Сравнительный анализ структуры древесины сосны до и после термомодифицирования представлен на рис. 1–6. Очевидно, что такие

изменения в структуре термомодифицированной древесины в значительной степени повлияли на ее физико-механические свойства, влагостойкость и влагопоглощение.

Древесина является гигроскопичным материалом. Ее влагосодержание находится в пределах 10% при температуре 20°C и относительной влажности 65%. Влажность термомодифицированной древесины в течение года испытаний составила около 5% при постоянных температуре и давлении, что можно объяснить уменьшением толщины клеточных стенок и изменением структуры окаймленных пор.

Термомодифицированная древесина при хранении имеет специфический запах, поэтому был проведен анализ выбросов в атмосферу химически несвязанных веществ и выделяющихся в результате термообработки. Пробы отбирали проботборным шприцем в стеклянные сосуды. Состав их определялся методом газожидкостной хроматографии с помощью хроматографа «Цвет – 800». Диапазон измерений по МВИ: 10 мг/м – 5000 г/м. Перечень органических соединений, которые возможно определить в газовых пробах по МВИ МН 1820-2002, включает 29 веществ.

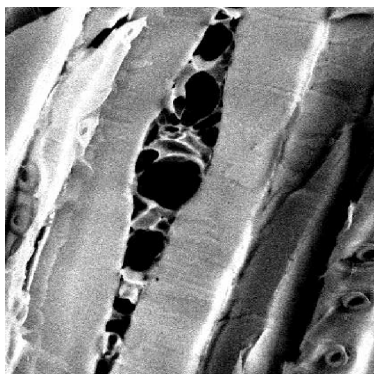


Рис. 1. Сердцевинный луч с горизонтальным смоляным ходом и окаймленные поры древесины сосны на тангенциальном разрезе

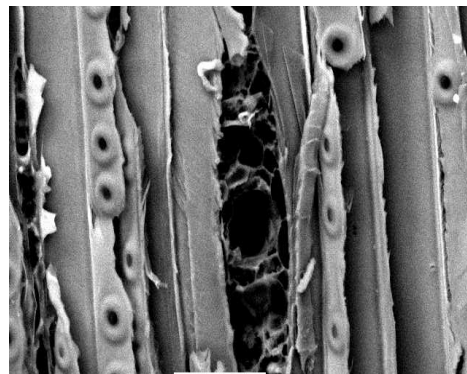


Рис. 2. Сердцевинный луч с горизонтальным смоляным ходом и окаймленные поры термомодифицированной древесины сосны на тангенциальном разрезе

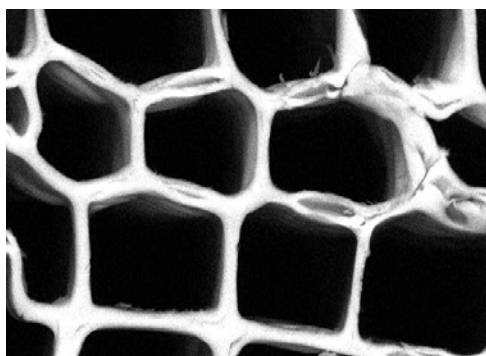


Рис. 3. Ранние трахеиды древесины сосны на поперечном разрезе

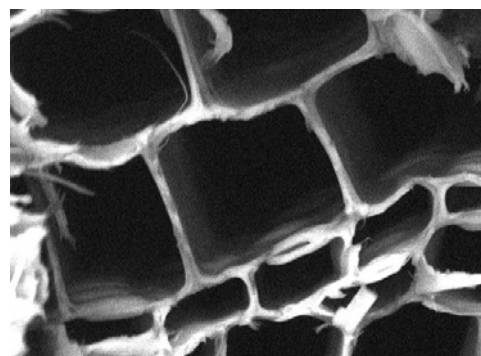


Рис. 4. Ранние трахеиды и клетки сердцевинного луча термомодифицированной древесины сосны на поперечном разрезе

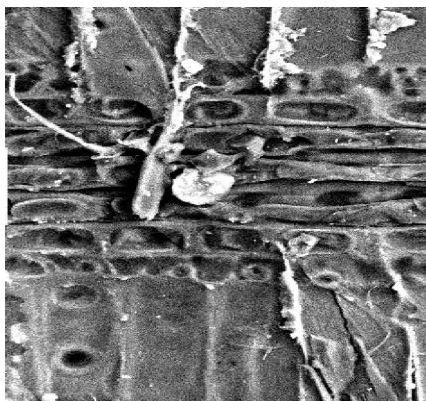


Рис. 5. Сердцевинный луч и мелкие окаймленные поры древесины сосны на радиальном разрезе

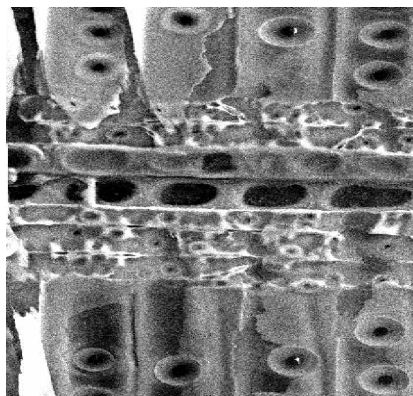


Рис. 6. Сердцевинный луч и мелкие окаймленные поры термомодифицированной древесины сосны на радиальном разрезе

С помощью хроматографирования было установлено, что запах вызван веществом – псевдокумол. Псевдокумол – вещество 2-го класса опасности, наличие которого не позволяет использовать термообработанную древесину для отделки внутренних помещений. Данный факт требует дальнейших исследований, направленных на возможность удаления этого вещества из термомодифицированной древесины и исключение возможности его выделения в окружающую среду [10].

Особый интерес представляют также биологические свойства термомодифицированной древесины [1, 5, 11, 12]. Согласно данным источника [1], а также испытаниям по ГОСТ [13–15], у термомодифицированной древесины сосны, подвергшейся испытаниям на дереворазрушающие культуры грибов, процент потери массы составил 1,9%, а у обычной древесины сосны – 60,3%.

Также в работе исследована прочность при сжатии вдоль волокон пиломатериалов хвойных (сосна, лиственница) и лиственных пород (дуб и ясень) после термического модифицирования. Цель исследования – установление влияния термомодифицирования на прочность, а также правомерность расчета конструкций из таких материалов по нормативным и временным сопротивлениям при сжатии вдоль волокон для каждой из пород в соответствии с требованиями ТКП 45-5.05-146-2009.

Образцы подвергались термической обработке при температуре 160–230°C в течение 12–18 ч, а затем испытывались на сжатие в соответствии с требованиями ГОСТ 16483.10-73.

Исследования показали, что предел прочности при сжатии вдоль волокон образцов термомодифицированной древесины сосны на 32,3% ниже среднестатистических показателей необработанной древесины и имеет фактиче-

ское значение предела прочности 31,12 МПа. Однако данное значение находится в пределах нормативных ограничений для древесины сосны по ТКП 45-5.05-146-2009.

Предел прочности при сжатии вдоль волокон термомодифицированных образцов древесины лиственницы на 23,0% ниже среднестатистических показателей для необработанной древесины. Минимальное значение предела прочности исследованных образцов составило 33,49 МПа, а среднее значение – 47,72 МПа. Данные значения находятся в пределах расчетных ограничений по 1–3-му сорту по ТКП 45-5.05-146-2009.

Предел прочности образцов древесины дуба при сжатии вдоль волокон на 20,3% ниже среднестатистических показателей для необработанной древесины. Минимальное значение для исследованных образцов составило 36,69 МПа, а среднее значение – 45,41 МПа. Данные значения находятся в пределах нормативных ограничений по 1–3-му сорту (ТКП 45-5.05-146-2009).

Предел прочности образцов древесины ясеня при сжатии вдоль волокон на 21,0% ниже среднестатистических показателей для необработанной древесины. Минимальное значение для исследованных образцов составило 38,20 МПа, а среднее значение – 44,24 МПа. Данные значения находятся в пределах нормативных ограничений по 1–3-му сорту по ТКП 45-5.05-146-2009.

Данные исследования хорошо согласуются с исследованиями других авторов для других пород деревьев [6–8].

Влажность термомодифицированной древесины определялась по ГОСТ 16483.7-71 и ГОСТ 21523.4-77, ГОСТ 21523.6-77. Образцы древесины сосны имеют фактическое значение влажности 3,8%, лиственницы – 2,3%, дуба – 2,5% и ясеня – 2,4% и находятся в пределах нормативных ограничений (8%).

Также было определено влагопоглощение термомодифицированной древесины по ГОСТ 21523.6-77. Установлено, что фактическое водопоглощение термомодифицированной древесины сосны составило за 24 ч 1,7%, лиственницы – 1,6, дуба – 1,8, ясеня – 1,9%, что находится в пределах нормативных ограничений (2%).

**Заключение.** В работе исследовано влияние процесса термомодификации на свойства древесины для четырех пород дерева (сосна, лиственница, дуб и ясень). Исследование образцов с помощью электронного микроскопа показали значительные изменения в структуре древесины. Стенки ранних трахеид уменьшились в 2 раза, на тангенциальном срезе выявлено расплавление стенок окаймленных пор, около сердцевинного луча уменьшились мелкие окаймленные поры. Данные структурные изменения

вызвали изменение физико-механических свойств термомодифицированной древесины. Анализ показал, что предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон для образцов всех пород уменьшился на 20,3–32,3%, но данные значения находятся в пределах нормативных ограничений. Установлено, что влажность и влагопоглощение термомодифицированной древесины находятся в пределах нормативных ограничений. Методом газо-жидкостной хроматографии проведен анализ выбросов в атмосферу химически несвязанных веществ и выделяющихся в результате термообработки древесины. Установлено, что при термообработке и хранении выделяется вещество 2-го класса опасности – псевдокумол. Данный факт требует дальнейших исследований, целью которых является разработка технологии, позволяющей нейтрализовать выделение данного вещества.

### Литература

1. Sandberg D., Kutnar A. Thermally modified timber: recent developments in Europe and north America // *Wood and Fiber Science*, 2016, no. 48(1), pp. 1–12.
2. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1987. 360 с.
3. Горшин С. Н. Консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1977. 355 с.
4. Пауль Э. Э., Звягинцев В. Б. Древесиноведение с основами лесного товароведения. Минск: БГТУ, 2015. 315 с.
5. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакция): пер. с англ. / под ред. А. А. Леоновича. М.: Лесная пром-сть, 1988. 512 с.
6. Boonstra J. M., Acker V. J., Tjeerdsma F. B., Kegel V. E. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents // *Ann. For. Sci.* (2007), no. 64, pp. 679–690.
7. Esteves B., Pereira H. Wood modification by heat treatment: A review // *BioRes* 2009, no. 4(1), pp. 370–404.
8. Сафин Р. Р., Сафин А. В., Шаяхметова А. Х. Исследование физико-механических свойств термомодифицированной древесины березы // *Вестник технологического университета*. 2015. Т. 18, № 4.
9. Антоник А. Ю., Леонович О. К. Структурные изменения древесины сосны при термомодифицировании // 81-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием): сб. науч. работ, Минск, 1–12 февраля 2017/ Белорусский государственный технологический университет, Минск, 2017 [Электронный ресурс] / URL: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html>. Дата доступа: 12.09.2017.
10. Антоник А. Ю. Эколого-химические свойства термомодифицированной древесины сосны // 68-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: сб. науч. работ, Минск. 17–22 апреля 2017/ Белорусский государственный технологический университет. – Минск 2017 – [Электронный ресурс] / URL: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/68-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-uchaschihsya-studentov-i-magistrantov.html>. Дата доступа: 12.09.2017.
11. Леонович О. К., Антоник А. Ю. Определение преобладающих культур дереворазрушающих и деревоокрашивающих грибов и их воздействие на древесину // *Труды БГТУ*. 2017, № 2: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобн. ресурсов. С. 299–304.
12. Леонович О. К., Антоник А. Ю. Биологическая устойчивость термомодифицированной древесины // 81-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием): сб. науч. работ, Минск, 1–12 февраля 2017/ Белорусский государственный технологический университет. Минск, 2017 [Электронный ре-

супс]/ URL: [https://www.belstu.by/science/obschaya\\_informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html](https://www.belstu.by/science/obschaya_informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html). Дата доступа: 12.09.2017.

13. Средства защитные для древесины. Экспресс-метод оценки эффективности против деревоокрашивающих и плесневых грибов: ГОСТ 30028.4-2006. Введ. 01.01.07. М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. 6 с.

14. Средства защитные для древесины. Метод испытания токсичности: ГОСТ 16712-95. Введ. 01.01.97. М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. 12 с.

15. Средства защитные для древесины. Метод определения предела воздействия на дереворазрушающие грибы класса базидиомицетов: ГОСТ 28184-89. Введ. 01.07.90. М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1989. 13 с.

### References

1. Sandberg D., Kutnar A. Thermally modified timber: recent developments in Europe and north America. *Wood and Fiber Science*, 2016, no. 48 (1), pp. 1–12.

2. Sergovsky P. S., Rasev A. I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny* [Hydrothermal processing and preservation of wood]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1987. 360 p.

3. Gorshin S. N. *Konservirovaniye drevesiny* [Preservation of wood]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1977. 355 p.

4. Paul' E. E., Zvyagintsev V. B. *Drevesinovedeniye s osnovamy lesnogo tovarovedeniya* [Wood Science with the Basics of Forest Goods Science]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 315 p.

5. Fengel D., Wegener G. *Drevesina (khimiya, ul'trastruktura, reaktsiya)* [Wood (chemistry, ultrastructure, reaction)]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1988. 512 p.

6. Boonstra J. M., Acker, V. J., Tjeerdma F. B., Kegel V. E. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Ann. For. Sci.* 2007, no. 64, pp. 679–690.

7. Esteves B., Pereira H. Wood modification by heat treatment: A review. *BioRes*, 2009, no. 4 (1), pp. 370–404.

8. Safin R. R., Safin A. V., Shayakhmetova A. Kh. Investigation of the physical and mechanical properties of thermomodified birch wood. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2015, vol. 18, no. 4.

9. Antonik A. Yu., Leonovich O. K. [Structural changes in pine wood during thermomodification]. *81-ya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem)* [81st scientific and technical conference of faculty, researchers and graduate students (with international participation)], Minsk, 2017 [Electronic resource]. Available at: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html> (accessed 12.09.2017).

10. Antonik A. Yu. [Ecological and chemical properties of thermomodified pine wood] *68-ya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya uchashchikhsya, studentov i magistrantov* [68th scientific and technical conference of students, students and undergraduates], Minsk, 2017 [Electronic resource]. Available at: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/68-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-uchaschihsya-studentov-i-magistrantov.html> (accessed 09/12/2017).

11. Leonovich O. K., Antonik A. Yu. Definition of the prevailing cultures of wood-destroying and wood-staining mushrooms, and their effect on wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2: Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, pp. 299–304 (In Russian).

12. Leonovich O. K., Antonik A. Yu. [Biological stability of thermomodified wood] *81-ya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem)* [81st scientific and technical conference of faculty, researchers and graduate students (with international participation)]. Minsk, 2017, [Electronic resource]. Available at: [https://www.belstu.by/science/obschaya\\_informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html](https://www.belstu.by/science/obschaya_informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html) (accessed 12/09/2017).

13. GOST 30028.4-2006. Means protective for wood. Express method for assessing the effectiveness against woodblocking and mold fungi. Moscow, Mezghos. совет по standartizatsii, metrologii i sertifikatsii iPubl., 2006. 6 p. (In Russian).

14. GOST 16712-95. Means protective for wood. Method of toxicity testing, Mosvov, Mezghos. совет по standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 1996. 12 p. (In Russian).

15. GOST 28184-89. Means protective for wood. Method for determining the limit of exposure to wood-destroying fungi of the basidiomycete class. Mosvov, Mezghos. совет по standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 1989. 13 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**Антоник Альбина Юрьевна** – магистрант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antonik.alya@mail.ru

**Леонович Олег Константинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств, заведующий научно-исследовательской лабораторией огнезащиты строительных конструкций и материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: OKL2001@mail.ru

### Information about the authors

**Antonik Al'bina Yur'yevna** – Master's degree student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antonik.alya@mail.ru

**Leonovich Oleg Konstantinovich** – PhD (Engineering), Assistant, Professor, the Department of Woodworking Technology, Head of the Research Accredited Laboratory of Building Desings and Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: OKL2001@mail.ru

*Поступила 19.10.2017*