



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК [674.049.2+674.046.7]

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА
ТЕРМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ
НА ИЗМЕНЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ
И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ**

© *Е.С. Шарпов, канд. техн. наук, доц.*

А.С. Торопов, д-р. техн. наук, проф.

А.С. Королев, асп.

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия, 424000; e-mail: sharapoves@volgatech.net

В работе представлены результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств термически обработанной древесины сосны (*Pinus sylvestris*), березы (*Bétula Péndula*), дуба (*Quércus Róbur*), осины (*Tilia europaea*) и липы (*Pópulus trémula*). Термическая обработка образцов осуществлялась в пароконвекционной камере, в среде насыщенного водяного пара при атмосферном давлении, максимальных температурах 180, 200 и 220 °С и длительности обработки при пиковых значениях до 3 ч. Определены потери массы и изменение плотности в абсолютно сухом состоянии, стандартная влажность древесины, модуль упругости и предел прочности при статическом изгибе. Установлено, что повышение потери массы характерно для всех пород, при этом наибольшие значения параметра отмечены для древесины дуба, липы и осины (в среднем на 17,8; 13,4 и 16,5 % соответственно) при максимальной температуре 220 °С. Плотность термически модифицированной древесины снижается при повышении температуры обработки и достигает минимальных значений для древесины дуба и осины. Модуль упругости при статическом изгибе повышается в среднем для различных пород на 10...20 % для пиковых температур обработки 180 и 200 °С и снижается при последующем повышении температуры до 220 °С. Предел прочности при статическом изгибе повышается для образцов березы в среднем на 12,5, сосны – 14,5, липы – 9,2 %, обработанных при 180 °С. С повышением пиковой температуры обработки до 200 °С максимальное снижение предела прочности отмечено у образцов дуба (в среднем на 19,5 %). Для образцов березы и липы снижение было незначительным и составило в среднем 3,5 и 0,5 % по сравнению с немодифицированными образцами. У образцов осины отмечено увеличение предела прочности на 23,0 и 11,5 % соответственно при 180 и 200 °С. Максимальное снижение предела прочности при статическом изгибе зафиксировано для всех пород при температуре термической обработки 220 °С, что по сравнению с немодифицированными образцами древесины березы составило 31,5, дуба – 38,9, сосны – 9,5, липы – 4,6, осины – 11,5 %.

Ключевые слова: термически модифицированная древесина, потеря массы, плотность, предел прочности при статическом изгибе, статический модуль упругости.

Введение

Изучение процесса термической обработки, а также свойств модифицированной древесины осуществляется на протяжении многих лет. Возросший интерес исследователей к этой проблеме в последнее десятилетие связан с научным обоснованием химических изменений в древесине при воздействии на нее высоких температур [7]. Физические и механические свойства новых материалов, получаемых при использовании различных технологий, представлены ведущими западно-европейскими и российскими университетами и научными центрами в области изучения свойств древесины и древесных материалов [1, 5, 7, 8, 12, 14]. Развитие и накопление знаний в обозначенном направлении возможно путем расширения использования породного состава, произрастающего в различных условиях, в частности в условиях Среднего Поволжья РФ.

Результаты исследований изгиба (EN 408) образцов древесины ели (*Picea abies*) и сосны (*Pinus sylvestris*) представлены в работе [4]. В эксперименте использовали брусья сечением 45×145 мм, термически модифицированные при максимальной температуре 220 °С. По результатам исследований статический предел прочности для обеих пород снизился примерно на 50 % при этом статический модуль упругости уменьшился всего лишь на 3,5 %.

Образцы сечением 38×100 мм из древесины ели (*Picea abies*), обработанные при 230 °С («ThermoWood») показали снижение предела прочности при изгибе в среднем на 40 % (EN 408). Значительные изменения в механической прочности образцов авторы [14] связывают с пороками, в области которых концентрируются разрушающие напряжения после термической обработки.

Исследованию предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе подвергались образцы (20×20 мм, DIN 52186) из древесины сосны (*Pinus radiata*, *P. sylvestris*) и ели, термически обработанные по технологии «Plato» [5]. Наблюдалось лишь незначительное снижение предела прочности при статическом изгибе на 3 % образцов из древесины сосны (*Pinus sylvestris*) при небольшом повышении модуля упругости.

В работе [13] представлены результаты механических испытаний образцов (20×20 мм, TS 2474 и TS 2478) сосны (*Pinus Brutia*), термически обработанных при атмосферном давлении и температуре 130,180 и 230 °С. Автор [7] отмечает снижение пределов прочности при статическом изгибе до 60 %. Аналогичные результаты были получены при изучении свойств термически обработанной сосны (*Pinus pinaster*) и эвкалипта (*Eucalyptus globulus*). Предел прочности снижался в соответствии с изменением потери массы образцов предельно на 40 % для сосны и до 60 % для эвкалипта.

Необходимо отметить результаты механических испытаний древесины различных пород, в том числе и при статическом изгибе, представленные в работе [1]. Однако, как отмечает автор, данные по пределам прочности дали противоположную динамику для различных пород.

Исследования физико-механических характеристик термически модифицированной сосны (*Pinus sylvestris*) представлены в работе [10]. Снижение предела прочности на 25 % (ISO 3133:1975) проявилось лишь после 6 и 8 ч выдержки, тогда как модуль упругости не снижался более чем на 6 %.

При статическом изгибе древесины груши (*Pyrus elaeagnifolia*) снижение предела прочности подтверждено в экспериментах [6]. Обработка древесины осуществлялась в камере при атмосферном давлении и температуре 160, 180 и 200 °С. Надо отметить, что при 6-часовой обработке и температуре 180 °С предел прочности при статическом изгибе уменьшался до 19 %.

Исследовано влияние влажности на предел прочности и модуль упругости при статическом изгибе термически модифицированной древесины ясеня (*Fraxinus excelsior*), бука (*Fagus sylvatica*), пихты (*Abies alba*) и ели (*Picea abies*) [3]. Установлено, что повышение влажности (выдержка в климатической камере) практически уравнивает средние значения и вариацию предела прочности необработанных и модифицированных образцов.

В работе [9] представлены результаты химического анализа и физико-химических испытаний образцов древесины ели (*Picea abies*). Установлена математическая зависимость потери массы и предела прочности при статическом изгибе, в работе [11] – данные о физико-механических свойствах термически обработанной ели (*Picea sitchensis*) при пиковой температуре обработки 160 °С. Для сравнения модификацию осуществляли в воздушной среде и в среде азота. Отмечено повышение статического модуля упругости образцов.

В рассмотренных и других научных публикациях большинство ученых отмечают снижение предела прочности при статическом изгибе термически обработанной древесины в соответствии с повышением пиковых температур и длительности выдержки. Модуль упругости имеет иной закон изменения с незначительным повышением в пределах температур 160...180 °С с последующим снижением при повышении максимальных температур обработки. Необходимо отметить, что решающее значение имеют технология термической обработки, порода древесины, размер образцов, их исходная влажность и влажность во время испытаний.

Целью данной работы являлось экспериментальное определение влияния процесса термической обработки на модуль упругости и предел прочности при статическом изгибе образцов древесины сосны (*Pinus sylvestris*), березы (*Bétula Péndula*), дуба (*Quércus Róbur*), осины (*Tilia europaea*) и липы (*Pópulus trémula*).

Материалы и методы

Для определения предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе было изготовлено по 200 образцов каждой из пяти пород размерами 20×20×300 мм из заболонной древесины без пороков. В целях определения потери массы, изменения плотности и стандартной влажности из заболонной древесины этих же пород было изготовлено по 30 дополнительных образцов размерами 20×20×30 мм. Все образцы выпиливали из центральной доски (в соответствии с требованиями ГОСТ 16483.0–89) с параллельным

расположением годичных слоев и минимальным углом наклона волокон к боковым поверхностям (для механических испытаний).

Потерю массы и изменение плотности $\Delta_{m(\rho)}$ дополнительных образцов до и после процесса термической обработки определяли в абсолютно сухом состоянии стереометрическим методом по ГОСТ 16483.1–84, ГОСТ 16483.7–71, используя универсальный сушильный шкаф и аналитические весы ViBRA AF-R220CE (Shinko Denshi Co. Ltd., Япония) с точностью 10^{-3} г, электронный штангенциркуль с точностью 0,01 мм:

$$\Delta_{m(\rho)} = \frac{m_{0_1}(\rho_{0_1}) - m_{0_2}(\rho_{0_2})}{m_{0_1}(\rho_{0_1})} 100 \%,$$

где m_{0_1} m_{0_2} – масса образца в абс. сухом состоянии до и после термической обработки, г;

ρ_{0_1} , ρ_{0_2} – плотность, образца в абсолютно сухом состоянии до и после термической обработки, кг/м^3 .

Термическую обработку образцов осуществляли в пароконвекционной камере XVC 305 EP (UNOX S.p.A., Italy) в среде насыщенного водяного пара при атмосферном давлении. Температуру повышали ступенчато с первоначальной выдержкой при 50 и 103 °С и в дальнейшем с повышением на 10...20 °С до максимальных температур 180, 200 и 220 °С. Длительность обработки при пиковых значениях 2...3 ч.

После процесса термической обработки дополнительные образцы помещали в сушильную камеру в целях определения массы и плотности. Затем все образцы выдерживали в лабораторной климатической камере до достижения равновесной (стандартной) влажности (ГОСТ 16483.7–71).

Механические испытания по определению предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе (ГОСТ 16483.3–84, ГОСТ 16483.9–73) проводили в аккредитованной испытательной лаборатории мебели и изделий из древесины Поволжского государственного технологического университета на универсальной испытательной машине AG-50kNXD с использованием программного комплекса «TRAPEZIUMX» (Shimadzu, Япония) (рис. 1).

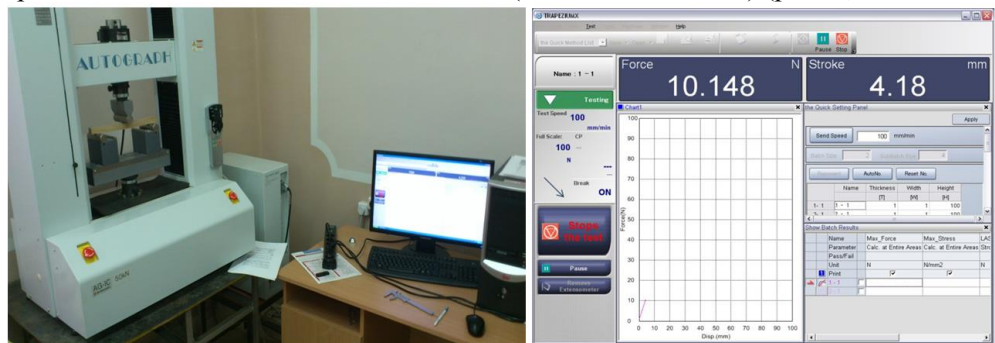


Рис. 1. Универсальная испытательная машина AG-50kNXD (а) и окно диаграммы «усилие–деформация» в программном комплексе «TRAPEZIUMX» (б)

Образцы устанавливали так, чтобы изгибающее усилие было направлено по касательной к годичным слоям. Нагружение образцов осуществляли равномерно со скоростью 4 мм/мин. Испытание проводили до момента снижения усилия при разрушении от максимального более чем на 30%. Статический модуль упругости определяли на прямолинейном участке диаграммы статического изгиба в пределах нагружения 150...500 Н в зависимости от потери массы и породы древесины. Результаты испытания отображались на ЭВМ в программном комплексе управления данными «TRAPEZIUM X», который позволяет не только полностью автоматизировать процесс исследования, но и осуществляет первичную обработку экспериментальных данных. Статистическую обработку результатов исследований проводили в программном комплексе «Statistica 10» (StatSoft, Inc., Tulsa, США).

Результаты исследования и их обсуждение

Потеря массы образцов представлена на рис. 2. На основании результатов можно утверждать, что с повышением пиковых температур и общей продолжительности процесса термической обработки потеря массы повышается. При этом для двух максимальных температур (180 и 200 °С) не наблюдается больших колебаний параметра как при сравнении средних значений между различными породами (для 180 °С – 1,1...2,6 %, для 200 °С – 3,3...6,5 %) так и внутри выборки по каждой породе. При этом с повышением максимальной температуры обработки до 220 °С прослеживается резкое повышение потери массы образцов из древесины дуба, липы и осины до 17,8; 13,4 и 16,5 % по сравнению с эталонными. Образцы из березы и сосны показали более скромные результаты (8,2 и 8,1 % соответственно). Следует отметить также и стандартное отклонение выходной величины внутри выборок по породам, здесь в процессе обработки при 220 °С вариация намного выше (рис. 2).

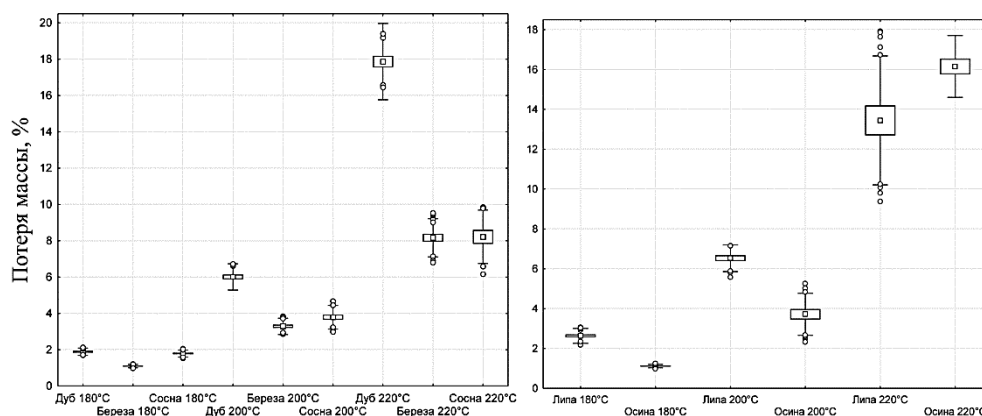


Рис. 2. Потеря массы образцов древесины сосны, березы, дуба, осины и липы после термической модификации при пиковых температурах 180, 200 и 220 °С (□ – среднее значение выборки, □ – стандартная ошибка, I – стандартное отклонение, ○ – выбросы)

В результате молекулярных изменений в структуре древесины под действием высоких температур происходит первоначальное разложение смол с последующей деполимеризацией полисахаридов и лигнина [7, 8, 12]. Вследствие химических изменений в структуре древесины происходит изменение ее плотности в абс. сухом состоянии, представленное на рис. 3. Уменьшение плотности образцов обусловлено изменением их массы, однако необходимо отметить и изменение их геометрических размеров [5, 8]. Наибольшее снижение плотности образцов наблюдается при пиковой температуре термической обработки 220 °С и достигает максимальных значений у древесины липы, дуба и осины по сравнению с эталонными на 7,3; 9,2 и 10,6 % соответственно. В целом изменение таких параметров, как масса и плотность образцов исследуемых пород, соответствует полученным ранее результатам отечественных и зарубежных исследователей [2, 5, 7, 8, 11, 12].

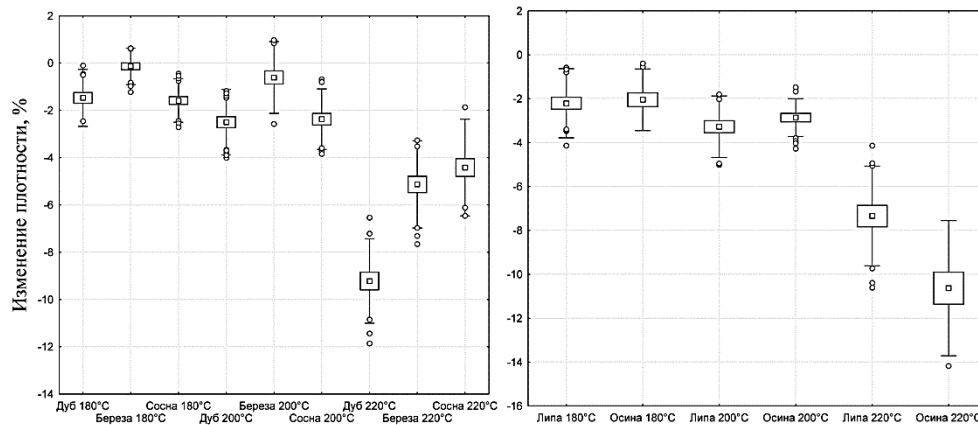


Рис. 3. Изменение плотности образцов после термической обработки (см. обозначения на рис. 2)

Одним из важнейших параметров, влияющих на механические свойства древесины, является ее влажность. Экспериментальные замеры стандартной влажности позволили подтвердить данные о ее снижении при обработке древесины в условиях высоких температур [7, 8, 12]. Наименьшая равновесная влажность (5,2 %) наблюдалась у образцов из липы и дуба.

Статический модуль упругости для всех исследуемых пород имеет схожую динамику изменения и в зависимости от пиковой температуры процесса повышается в среднем на 10...20 % от эталонных, немодифицированных образцов. Как видно на рис. 4, вариация параметра для всех групп образцов практически не зависит от породы и режимов обработки. Изменения модуля упругости соответствуют ранее опубликованным данным [2, 5, 8, 14].

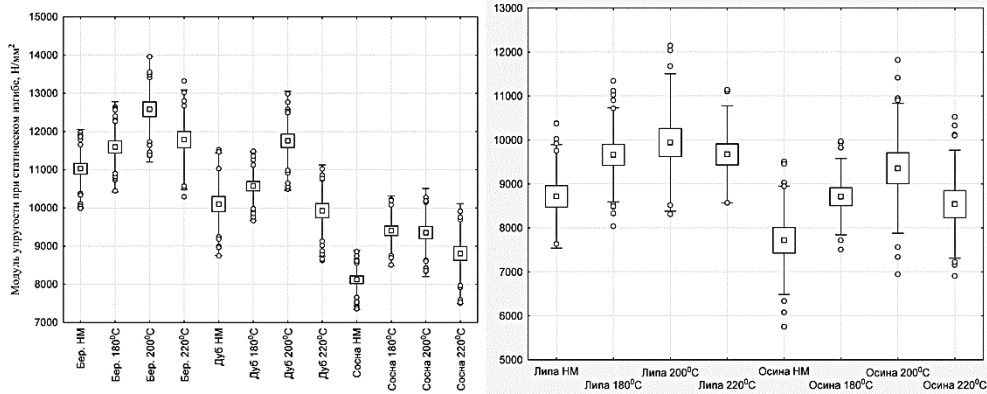


Рис. 4. Модуль упругости при статическом изгибе (□ – среднее значение выборки, □ – стандартная ошибка, I – стандартное отклонение, о – выбросы, НМ – немодифицированные образцы)

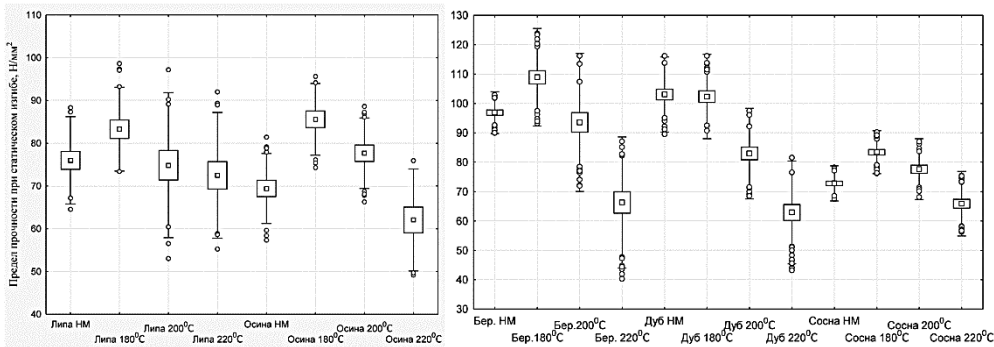


Рис. 5. Предел прочности при статическом изгибе (см. обозначения на рис. 4)

Результаты по определению предела прочности при изгибе представлены на рис. 5. Закономерность влияния температуры и продолжительности обработки частично отражают данные по модулю упругости с незначительным повышением параметра при 180 °С и последующим снижением для остальных значений пиковых температур. В частности, для древесины березы первоначальным увеличением являлось 12,5 % с последующим снижением прочности в среднем на 3,5 и максимально на 31,5 %. Древесина дуба показала максимальное снижение предела прочности, что составило для искомых температур обработки 0,7; 19,5 и 38,9 % от эталонных образцов. Незначительное снижение установлено для древесины сосны, при повышении температуры предел прочности в среднем возрастал на 14,5 и 9,5 % при 180 и 200 °С с последующим снижением на 9,5 %. У образцов из осины отмечено повышение предела прочности на 23,0 и 11,5 % при 180 и 200 °С с последующим снижением

на 11,5 %. Наименьшее снижение предела прочности при статическом изгибе определено у древесины липы, при 220 °С данный параметр уменьшился лишь на 4,6 %. Максимальные стандартные отклонения предела прочности также характерны для температуры 220 °С. Снижение предела прочности образцов, безусловно, связано с изменениями, происходящими в древесине на молекулярном уровне, при этом на изменение предела прочности при изгибе влияет модуль упругости, а также равновесная влажность, оказывающая негативное влияние на прочностные характеристики при изгибе немодифицированных образцов, что соответствует результатам [11].

Заключение

Потеря массы является одним из ключевых параметров, характеризующих процесс термической обработки древесины и отражающих пиковую температуру и длительность процесса обработки. Потеря массы характерна для всех пород, при этом наибольшее изменение параметра отмечено для древесины дуба, липы и осины, в среднем соответственно на 17,8, 13,4 и 16,5 % при максимальной температуре 220 °С. Плотность термически модифицированной древесины снижается при повышении температуры обработки и достигает минимальных значений у дуба и осины.

Модуль упругости при статическом изгибе повышается в среднем на 10...20 % для различных пород при пиковых температурах обработки 180 и 200 °С и снижается при последующем повышении температуры до 220 °С.

Предел прочности при статическом изгибе повышается у образцов березы в среднем на 12,5 %, сосны – 14,5 %, липы – 9,2 %, обработанных при 180 °С. С повышением пиковой температуры обработки до 200 °С максимальное снижение предела прочности отмечено у образцов дуба, в среднем на 19,5 %. Для образцов березы и липы снижение было незначительным и составило в среднем 3,5 и 0,5 % от немодифицированных образцов. У образцов осины отмечено повышение предела прочности на 23,0 и 11,5 % при 180 и 200 °С с последующим снижением параметра на 11,5 % при повышении температуры до 220 °С. Максимальное снижение предела прочности при статическом изгибе зафиксировано для всех пород при температуре термической обработки 220 °С, что по сравнению с немодифицированными образцами для березы составило 31,5 %, дуба – 38,9 %, сосны – 9,5 %, липы – 4,6 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимирова Е.Г.* Технология производства заготовок из термически модифицированной древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 22 с.
2. *Шаранов Е.С., Karl-Christian Mahnert, Королев А.С.* Экспериментальные исследования физико-механических свойств термически модифицированной древесины сосны // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2013. № 2. С. 90–96.
3. *Arnold M.* Effect of moisture on the bending properties of thermally modified beech and spruce // Journal of Material Science. 2010. N 45. P. 669–680.

4. Ates S., Akyildiz M.H., Özdemir H. Effects of heat treatment on Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) wood // BioResources. 2009. N 4(3). P. 1032–1043.
5. Bengtsson C., Jermer J., Brem F. Bending strength of heat-treated spruce and pine timber // 33rd annual meeting of the international research group on wood protection. Cardiff, Wales. 2002. Document IRG/WP 02-40242. 9 p.
6. Boonstra M.J. A two-stage thermal modification of wood : Ph.D. dissertation in co-supervision Ghent University and Université Henry Poincaré. Nancy, France, 2008. 297 p.
8. Gunduz G., Aydemir D., Karakas G. The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties // Materials and Design. 2009. N 30. P. 4391–4395.
7. Esteves B., Marques A.V., Domingos I., Pereira H. Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood // Wood Science and Technology. 2007. N 3(41). P. 193–207.
9. Hill C.A.S. Wood modification – chemical, thermal and other processes. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 2006.
10. Kacikova D., Kacik F., Cabalova I., Durkovic J. Effects of thermal treatment on chemical, mechanical and colour traits in Norway spruce wood // Bioresource Technology. 2013. N 144. P. 669–674.
11. Kamperidou V., Barboutis I., Vasileiou V. Influence of thermal treatment on mechanical strength of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood // Wood research. 2014. N 59(2). P. 373–378.
12. Kubojima Y., Okano T. & Ohta M. Bending strength and toughness of heat-treated wood // Journal of Wood Science. 2000. N 46. P. 8–15.
13. Militz H. and Altgen M. Processes and properties of thermally modified wood manufactured in Europe // Deterioration and protection of sustainable biomaterials, In: T.P. Schultz, B. Goodell and D.D. Nicholas. chapter 16. 2014. P. 269–285.
14. ThermoWood 2003: ThermoWood® Handbook Finnish ThermoWood Association. Helsinki, Finland. URL: <http://www.thermowood.fi>.

Поступила 11.05.15

UDC [674.049.2+674.046.7]

Effect of Thermal Modification of Wood on Strength and Elasticity Modulus in Static Bending

E.S. Sharapov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

A.S. Toropov, Doctor of Engineering Sciences, Professor

A.S. Korolev, Postgraduate Student

Volga State University of Technology, Lenin sq., 3, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424000, Russian Federation; e-mail: sharapoves@volgatech.net

The paper presents the experimental results of physical and mechanical properties of thermally modified timber of pine (*Pinus sylvestris*), birch (*Bétula Péndula*), oak (*Quércus Róbur*), aspen (*Tilia europaea*) and lime (*Pópulus trémula*). Wood samples' heating was carried out in a saturated steam medium in a steam convection section and atmospheric pressure at maximum temperatures of 180 °C, 200 °C and 220 °C and the duration of treatment at a peak value of 3 hours. The values of mass loss and the change in density when dry, specified moisture content, elasticity modulus and tensile strength at static bending were defined. The increase in mass loss was significant for all wood species. Maximum mass loss

was determined for oak, lime and aspen wood specimens at average values of 17.8 %, 13.4 % and 16.5 % respectively, at a maximum temperature of 220 °C. The density of thermally modified wood was reduced with increasing treatment temperature and reached the minimum values for wood of oak and aspen. Elasticity modulus at static bending increased for different species on average of 10...20 % for peak processing temperatures of 180 °C and 200 °C and subsequently reduced by increasing the temperature up to 220 °C. The ultimate strength at static bending is increased for birch samples, treated at 180 °C, on average of 12.5 %, pine – 14.5 % and lime – 9.2 %. With the rise of peak processing temperature up to 200 °C the maximum reduction of ultimate strength of wood was observed in oak samples (on average 19.5 %). For birch and lime samples the decrease was insignificant – 3.5 % and 0.5 % in comparison with the unmodified samples. The rise of ultimate strength was observed for aspen samples of 23 % and 11.5 % for the 180 °C and 200 °C. The maximum decrease of the ultimate strength at static bending was marked for all species in the heat treatment temperature of 220 °C, that was compared to unmodified samples for birch – 31.5 %, oak – 38.9 %, pine – 9.5 %, lime – 4.6 % and 11.5 % of aspen.

Keywords: thermally modified timber, mass loss, density, elasticity modulus at static bending, static modulus.

REFERENCES

1. Vladimirova E.G. *Tekhnologiya proizvodstva zagotovok iz termicheski modifitsirovannoy drevesiny*: avtoref. dis... kand. tekn. nauk [Technology of Production of Hewn Blanks of Thermally Modified Wood: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.], Moscow, 2012. 22 p.
2. Sharapov E.S., Karl-Christian Mahnert, Korolev A.S. Eksperimental'nye issledovaniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv termicheski modifitsirovannoy drevesiny sosny [Experimental Research of Physical and Mechanical Properties of Pine Wood]. *Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik*, 2013, no. 2, pp. 90–96.
3. Arnold M. Effect of Moisture on the Bending Properties of Thermally Modified Beech and Spruce. *Journal of Material Science*, 2010, no. 45, pp. 669–680.
4. Bengtsson C., Jermer J., Brem F. Bending Strength of Heat-Treated Spruce and Pine Timber. *33rd annual meeting of the international research group on wood protection*. Cardiff, Wales, 2002. 9 p.
5. Boonstra M.J. *A Two-Stage Thermal Modification of Wood*: Ph.D. Diss. Nancy, France, 2008. 297 p.
6. Gunduz G., Aydemir D., Karakas G. The Effects of Thermal Treatment on the Mechanical Properties of Wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) Wood and Changes in Physical Properties. *Materials and Design*, 2009, no. 30, pp. 4391–4395.
7. Esteves B., Marques A.V., Domingos I., Pereira H. Influence of Steam Heating on the Properties of Pine (*Pinus pinaster*) and Eucalypt (*Eucalyptus globulus*) Wood. *Wood Science and Technology*, 2007, no. 3 (41), pp. 193–207.
8. Hill C.A.S. *Wood Modification - Chemical, Thermal and Other Processes*. Chichester, UK, 2006.
9. Kacikova D., Kacik F., Cabalova I., Durkovic J. Effects of Thermal Treatment on Chemical, Mechanical and Colour Traits in Norway Spruce Wood. *Bioresource Technology*, 2013, no. 144, pp. 669–674.

10. Kamperidou V., Barboutis I., Vasileiou V. Influence of Thermal Treatment on Mechanical Strength of Scots Pine (*Pinus sylvestris L.*) Wood. *Wood research*, 2014, no. 59 (2), pp. 373–378.

11. Kubojima Y., Okano T. & Ohta M. Bending Strength and Toughness of Heat-Treated Wood. *Journal of Wood Science*, 2000, no. 46, pp. 8–15.

12. Militz H., Altgen M. Processes and Properties of Thermally Modified Wood Manufactured in Europe. *Deterioration and Protection of Sustainable Biomaterial, chapter 16*. Ed. by T.P. Schultz, B. Goodell, D.D. Nicholas. Washington, 2014, pp. 269–285.

13. Ates S., Akyildiz M.H., Özdemir H. Effects of Heat Treatment on Calabrian Pine (*Pinus brutia Ten.*) Wood. *BioResources*, 2009, no. 4 (3), pp. 1032–1043.

14. *ThermoWood 2003: ThermoWood® Handbook*. Finnish ThermoWood Association. Helsinki, Finland. Available at: <http://www.thermowood.fi>.

Received on May 11, 2015

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.6.85
