

ИЗМЕНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ТОПОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ДУБА ПРИ ПРОЯВЛЕНИИ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ

Г.А. Горбачева¹, В.Г. Санаев¹, С.Ю. Белковский¹, З. Пастори²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

² Шопронский университет, Инновационный центр, Hungary, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky utca 4

gorbacheva@mgul.ac.ru

Исследования в области фундаментального древесиноведения создают научную базу для использования древесины в качестве природного функционального материала. Функциональные материалы обладают заданными свойствами, которые изменяются при изменении параметров окружающей среды (температуры, влажности, давления, электромагнитных полей и т. д.), причем задание этих свойств должно быть управляемым. Древесина является природным функциональным материалом, обладающим эффектом памяти формы. Характеризация эффекта памяти формы (ЭПФ) древесины позволяет детально исследовать деформационные превращения при различных историях деформирования, экспериментально определить показатели ЭПФ, изменения в структуре древесины. Метод термомеханической спектроскопии (ТМС), разработанный в Институте химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, использовался для исследования изменений молекулярно-релаксационного (топологического) строения древесины при различных проявлениях ЭПФ. Эксперименты проводились на образцах строганого шпона из древесины дуба черешчатого (*Quercus robur* L.). Для образцов постоянной, временной и восстановленной форм древесины дуба экспериментально определены релаксационные параметры, фазовое состояние и молекулярные характеристики фрагментов макромолекул в структуре топологических блоков древесины. Термомеханическая кривая исходной древесины дуба топологически дробная, с двумя аморфными блоками псевдосетчатого строения. При образовании временной формы и возникновении замороженных деформаций в древесине дуба происходит трансформация топологической структуры, она становится полиблочной, аморфно-кристаллического и псевдосетчатого строения. Появление кристаллической модификации, доля которой составляет 0,55, приводит к значительному уменьшению доли высокотемпературного аморфного блока псевдосетчатого строения. При возвращении начальных физических условий наблюдается восстановление исходной формы и топологически дробной структуры древесины дуба. Подобные закономерности ранее были выявлены для древесины бука и сосны. Метод термомеханической спектроскопии позволяет установить взаимосвязь деформационных превращений с характером межмолекулярных взаимодействий и межцепной организацией полимеров древесины.

Ключевые слова: природный функциональный материал, эффект памяти формы древесины, термомеханическая спектроскопия, молекулярно-топологическое строение древесины, древесина дуба

Ссылка для цитирования: Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Белковский С.Ю., Пастори З. Изменение молекулярно-топологического строения древесины дуба при проявлении эффекта памяти формы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 36–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-36-41

Российская Федерация занимает первое место в мире по площади лесов и второе — по запасам древесины [1]. Лесной сектор представляет собой огромный потенциал для сокращения выбросов парниковых газов и снижения углеродоемкости российской экономики в целом. Применение инновационных технологий производства изделий и конструкций из древесины, сокращение потребления энергии, повышение степени переработки древесины, ее повторное использование — все это эффективные меры, позволяющие снизить выбросы парниковых газов [1, 2]. Древесина является традиционным строительным и поделочным материалом благодаря уникальному сочетанию механических, технологических и эксплуатационных свойств. Исследования в области фундаментального древесиноведения создают научную базу для употребления древесины в качестве природного функционального материала. Создание новых функциональных материалов и способов их получения, необходимых для развития высокотехнологичных секторов экономики,

является одной из ключевых задач современного материаловедения. Функциональные материалы обладают заданными свойствами, которые изменяются при изменении параметров окружающей среды (температуры, влажности, давления, электромагнитных полей и т. д.), причем задание этих свойств должно быть управляемым. Древесина является природным функциональным материалом, обладающим эффектом памяти формы. Данный феномен основан на квазиостаточных замороженных деформациях, экспериментально обнаруженных Б.Н. Уголевым в начале 1960-х гг. при сушке закрепленного образца [3]. В последующие годы авторами проводились систематические исследования эффекта памяти [4–9]. Характеризация эффекта памяти формы (ЭПФ) древесины позволила детально исследовать деформационные превращения при различных историях деформирования, экспериментально определить показатели ЭПФ, изменения в структуре древесины. Метод термомеханической спектроскопии (ТМС), разработанный в Институте хими-

ческой физики им. Н.Н. Семенова РАН [10, 11], который базируется на термомеханическом анализе полимеров, позволяет исследовать изменение молекулярно-релаксационного (топологического) строения древесины при различных проявлениях ЭПФ. Исследование молекулярно-топологического строения древесины бука и сосны методом ТМС позволили выявить влияние деформационных превращений на характер межмолекулярного взаимодействия и межцепную организацию полимеров древесины. Образование и исчезновение замороженных деформаций, являющихся носителями эффекта памяти, обусловлено изменениями в системе межмолекулярных взаимодействий (в том числе в сетке водородных связей) [12–14]. При образовании временной и восстановлении исходной форм наблюдается существенная трансформация топологической структуры древесины бука и сосны [7, 15]. Древесина дуба обладает высокими физико-механическими свойствами, широко используется в различных отраслях промышленности.



Для экспериментальных исследований использовались образцы строганого шпона из древесины дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) размерами 250×15×0,6 мм. В табл. 1. представлены процедура испытаний, полученные показатели ЭПФ: R_r (доля обратимых деформаций) и R_f (доля фиксированных деформаций) для образцов древесины дуба постоянной, временной и восстановленной форм. Термомеханические кривые древесины дуба сняты в методическом варианте ТМС при взаимно перпендикулярной ориентации векторов приложения термомеханической нагрузки и оси направления волокон. Температурный интервал сканирования составил –100...+300 °С. Для образцов постоянной, временной и восстанов-

ленной форм древесины дуба экспериментально определены релаксационные параметры, фазовое состояние и молекулярные характеристики фрагментов макромолекул в структуре топологических блоков древесины.

Термомеханическая кривая исходной древесины дуба топологически диблочна, с двумя аморфными блоками псевдосетчатого строения, свободный объем в высокотемпературном блоке сохраняется неизменным вплоть до температуры начала разложения древесины. При образовании временной формы в результате одновременного действия изгибающих усилий и снижения влажности возникают обратимые замороженные деформации. В топологической структуре древесины дуба при этом происходит значительная трансформация, она становится полиблочной, аморфно-кристаллического и псевдосетчатого строения, с более высокой температурой начала разложения (табл. 2). Появление кристаллической модификации ($T_{пл} = 181$ °С, $M_k = 63\ 100$, степень кристалличности $\phi_k = 0,55$) приводит к значительному уменьшению доли высокотемпературного аморфного блока псевдосетчатого строения. Это возвращении начальных физических условий наблюдается восстановление постоянной формы и топологически диблочной структуры древесины дуба. Топологическая структура древесины дуба в состоянии восстановленной формы аналогична ее исходному состоянию и свидетельствует о практически полной ее структурной обратимости, хотя и с несколько различающимися молекулярно-релаксационными характеристиками, что обусловлено наличием необратимых пластических деформаций. При этом увеличивается доля низкотемпературного аморфного блока псевдосетчатого строения. Подобные закономерности ранее были выявлены

Т а б л и ц а 1

Характеристика образцов и показатели эффекта памяти формы древесины дуба
Characteristics of samples and indicators of memory effect of the shape of oak wood

№ образца	1-Д-54	1-Д-55	1-Д-56
Форма образца	Постоянная	Временная 	Восстановленная 
Процедура испытаний	Перед испытаниями	Деформирование при изменении влажности Увлажнение при $t = 80$ °С до $W_n > 30$ %, изгиб, сушка под нагрузкой при $t = 80$ °С до $W_k \approx 8$ %, разгрузка	Возвращение исходных физических условий Предварительное деформирование при изменении влажности, повторное увлажнение до $W_n > 30$ %, $t = 80$ °С, сушка в свободном состоянии до влажности $W_k \approx 8$ %
Деформация образца	$\varepsilon = 0$	$\varepsilon = \varepsilon_s = \varepsilon_f + \varepsilon_p$, где ε_f – замороженная деформация;	$\varepsilon = \varepsilon_p$, где ε_p – пластическая деформация
Показатели ЭПФ		$R_f = 0,9771$	$R_r = 0,7815$

Молекулярно-топологическое строение древесины дуба
Molecular-topological structure of oak wood

Характеристики древесины	1-Д-54, постоянная форма	1-Д-55, временная форма	1-Д-56, восстановленная форма
Низкотемпературный аморфный блок псевдосетчатого строения			
Температура стеклования T_c , °C	-27	-20	-37
Коэффициент линейного термического расширения $\alpha_1 \cdot 10^5$, град ⁻¹	60,6	43,8	40,2
Коэффициент линейного термического расширения $\alpha_2 \cdot 10^5$, град ⁻¹	176,9	90,9	111,1
Геометрический свободный объем V_f	0,858	0,357	0,502
Среднечисленная молекулярная масса M_{cn}	19,9	10,2	24,9
Средневесовая молекулярная масса M_{cw}	26,7	13,4	34,1
Коэффициент полидисперсности K	1,34	1,32	1,37
Температура плато высокоэластичности T_{∞} , °C	19	7	4
Весовая доля аморфного блока ϕ_a	0,28	0,21	0,35
Высокотемпературный аморфный блок псевдосетчатого строения			
Температура стеклования T'_c , °C	24	39	46
Геометрический свободный объем V'_f	0,434	0,851	0,679
Среднечисленная молекулярная масса $M'_{cn} \cdot 10^{-3}$	107,0	83,9	97,3
Средневесовая молекулярная масса $M'_{cw} \cdot 10^{-3}$	165,4	123,9	148,6
Коэффициент полидисперсности K'	1,55	1,48	1,53
Температура плато высокоэластичности T'_{∞} , °C	176	154	193
Весовая доля аморфного блока ϕ'_a	0,72	0,34	0,65
Кристаллическая модификация			
Температура начала плавления $T_{пл}$, °C	-	181	-
Коэффициент термического расширения плавления кристаллитов, пропорциональный скорости плавления $\alpha_k \cdot 10^5$, гр ⁻¹	-	285,7	-
Молекулярная масса закристаллизованных цепей в структуре кристаллической модификации $M_k \cdot 10^{-3}$	-	63,1	-
Степень кристалличности j_k	0,00	0,55	0,00
Температура деструкции T_d , °C	231	278	225
Влажность W , %	6,9	4,8	7,4

для древесины бука и сосны [7, 15]. Изменение соотношения блоков в топологической структуре древесины дуба показано на рисунке

Таким образом, для характеристики эффекта памяти формы для постоянной, временной и восстановленной форм образцов из древесины дуба получены количественные и молекулярно-релаксационные характеристики. Экспериментально подтверждена обнаруженная ранее у древесины сосны и бука обратимая трансформация топологической структуры при образовании временной и восстановлении постоянной форм. Для различных древесных пород метод термомеханической спектроскопии позволяет установить взаимосвязь деформационных превращений с характером межмолекулярных взаимодействий и межцепной организацией полимеров древесины.

Исследования выполнены в лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудо-

ванием «Центр физико-механических испытаний древесины» (ЦКП ЦФМИД) Мытищинского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет)».

Авторы выражают благодарность Ю.А. Ольхову за помощь в получении данных по термомеханической спектроскопии древесины дуба.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ «Исследование строения, свойств и характеристик древесины как природного функционального материала для разработки энергосберегающих и экологических технологий продукции с заданными механическими, электрическими, химическими и тепловыми характеристиками».

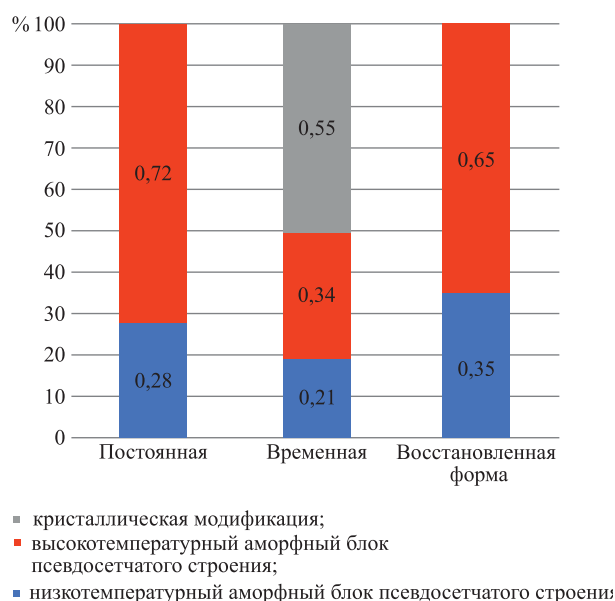


Рис. Изменения в топологической структуре древесины дуба для временной и восстановленной форм при эффекте памяти

Fig. Changes in the topological structure of oak wood for temporary and reconstructed forms with the memory effect

Список литературы

- [1] Леса и лесные ресурсы Российской Федерации: Ежегодный доклад о состоянии и использовании лесов в Российской Федерации в 2011 г. // Федеральное агентство лесного хозяйства, 2011. URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/other/77/1.pdf> (Дата обращения: 14.05.2017).
- [2] Пастори З., Борчок З., Горбачева Г.А. Баланс CO₂ различных видов стеновых конструкций // Строительные материалы, 2015. № 12. С. 76–77.
- [3] Уголев Б.Н. Метод исследования реологических свойств древесины при переменной влажности // Заводская лаборатория, 1961. № 27 (2). С. 199–203.
- [4] Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Белковский С.Ю. Возможности регулирования показателей эффекта памяти формы древесины // Современные проблемы биологического и технического лесоведения: сб. тр. I Междунар. науч.-практ. конф. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. С. 46–50.
- [5] Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Белковский С.Ю. Характеризация удельной поверхности древесины при эффекте памяти формы // Лесной журнал, 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 79–83.
- [6] Gorbacheva G.A., Olkhov Yu.A., Ugolev B.N., Belkovskiy S.Yu. Research of Molecular-Topological Structure at Shape-Memory Effect of Wood. Proc. of the 57th Int. Convention of SWST «Sustainable Resources and Technology for Forest Products». Zvolen, Slovakia, 2014, pp. 187–195.
- [7] Gorbacheva G.A., Ugolev B.N., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu., Gorbachev S.A. Methods of characterization of memory effect of wood. Pro Ligno, 2015, vol. 11, no. 4, pp. 65–72.
- [8] Ugolev B., Gorbacheva G., Belkovskiy S. Quantification of wood memory effect. Proc. 2012 IAWA «Wood the Best Material for Mankind» and the 5th International Symposium on the «Interaction of Wood with Various Forms of Energy». Zvolen, Slovakia, 2012, pp. 31–37.
- [9] Ugolev B.N. Wood as a natural smart material. Wood Science and Technology. Journal of the International Academy of Wood Science, 2014, v. 48, no. 3, pp. 553–568.
- [10] Способ определения молекулярно-массового распределения полимеров: Пат. 1763952 Российская Федерация, МПК G01N21/00 / Ольхов Ю.А., Иржак В.И., Батуринов С.М.; заявитель и патентообладатель Отделение института хим. физики АН СССР. № 4767397/05, заявл. 27.10.89, опубл. 23.09.1992, бюл. № 35.
- [11] Olkhov Yu. A., Jurkowski B. On the more informative version of thermomechanical analysis at compression mode. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2005, v. 81, no. 3, pp. 489–500.
- [12] Уголев Б.Н., Галкин В.П., Горбачева Г.А., Аксенов П.А., Баженов А.В. Изменение наноструктуры древесины при влагозадержанных деформациях // Науч. тр. МГУЛ. Вып. 338 «Технология и оборудование для переработки древесины». М.: МГУЛ, 2007. С. 9–16.
- [13] Эриньш П.П. Строение и свойства древесины как многокомпонентной полимерной системы // Химия древесины, 1977. № 1. С. 8–25.
- [14] Sisson A.L., Lendlein A. Advances in actively moving polymers. Macromol. Mater. Eng., 2012, v. 297, pp. 1135–1137.
- [15] Горбачева Г.А., Уголев Б.Н., Санаев В.Г., Белковский С.Ю. Характеризация эффекта памяти формы древесины бука методом термомеханической спектроскопии // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2016. Т. 20. № 4. С. 10–14.

Сведения об авторах

Горбачева Галина Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры лесоведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), gorbacheva@mgul.ac.ru

Санаев Виктор Георгиевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой лесоведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), rector@mgul.ac.ru

Белковский Серафим Юрьевич — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры лесоведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), belkovskiy@ro.ru

Пастори Золтан — директор Инновационного центра Шопронского университета, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Статья поступила в редакцию 26.06.2017 г.

THE CHANGE OF THE MOLECULAR-TOPOLOGICAL STRUCTURE OF OAK WOOD AT SHAPE MEMORY EFFECT

G.A. Gorbacheva¹, V.G. Sanaev¹, S.Yu. Belkovskiy¹, Z. Pasztor²

¹ BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

² University of Sopron, Innovation Center, Hungary, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky utca 4

gorbacheva@mgul.ac.ru

Research in the field of fundamental wood science is the scientific basis for the use of wood as a natural functional material. Functional materials have properties that change with changing environmental parameters (temperature, humidity, pressure, electromagnetic fields, etc.), and set these properties should be managed. Wood is a natural functional material possessing a shape memory effect. Characterization of shape memory effect (SME) of the wood allows to make a detailed study of deformative conversions at various histories of deformation, quantification of SME, changes in the wood structure. Method of thermomechanical spectrometry (TMS), developed at the Institute of chemical physics of the RAS, was used to study changes in molecular relaxation (topological) structure of wood at shape memory effect. The samples of sliced veneer from the oak wood (*Quercus robur* L.) were used. For samples of oak wood at permanent, temporary shapes and shape after recovery the relaxation parameters, phase state and molecular characteristics of the fragments of macromolecules in the structure of topological blocks were experimentally determined. Thermomechanical curve of the original oak wood has topologically diblock structure with two amorphous blocks with pseudonetwork structure. During the formation of the temporary shape and appearance of frozen strains the transformation of topological structure of oak wood is observed, it becomes multi-block, amorphous and crystal structure and pseudonetwork structure. The appearance of crystalline modifications, which share is 0,55, leads to a significant decrease in the proportion of the high-temperature amorphous block of pseudonetwork structure. When returning the initial physical conditions the recovering of permanent shape and the topologically diblock structure of oak wood take place. The same transformations of topological structure were previously observed for beech and pine wood. Method of thermomechanical spectrometry allows detect the relationship of deformative conversions with the intermolecular interactions and inter-chain organization of the wood polymers.

Keywords: natural functional material, shape memory effect of wood, thermomechanical spectrometry, molecular topological structure of wood, oak wood

Suggested citation: Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu., Pastori Z. *Izmenenie molekulyarno-topologicheskogo stroeniya drevesiny duba pri proyavlenii efekta pamyati formy* [The change of the molecular-topological structure of oak wood at shape memory effect]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 36–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-36-41

References

- [1] Lesa i lesnye resursy Rossiyskoy Federatsii: Ezhegodnyy doklad o sostoyanii i ispol'zovanii lesov v Rossiyskoy Federatsii v 2011 g. [Forests and forest resources of the Russian Federation: annual report on the status and use of forests in the Russian Federation in 2011] Federal'noe agentstvo lesnogo khozyaystva, 2011 [Federal Forestry Agency, 2011]. Available at: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/other/77/1.pdf>
2. Pasztori Z., Borchok Z., Gorbacheva G.A. Balans CO₂ razlichnykh vidov stenovykh konstruksiy [CO₂ balance of different types of wall structures] *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], 2015, no. 12, pp. 76–77.
3. Ugolev B.N. Metod issledovaniya reologicheskikh svoystv drevesiny pri peremennoy vlazhnosti [Method of investigation of the rheological properties of wood at variable moisture content] *Zavodskaya laboratoriya* [Factory Laboratory]. Moscow, 1961, no. 27 (2), pp. 199–203.
4. Gorbacheva, G.A., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu. Vozmozhnosti regulirovaniya pokazateley efekta pamyati formy drevesiny [The possibility of regulating of the quantities of the shape memory effect of wood] *Sovremennye problemy biologicheskogo i tekhnicheskogo drevesinovedeniya: Sbornik trudov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern Problems of Biological and Technical Wood Science: Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference]. Yoshkar-Ola: PGTU publ., 2016, pp. 46–50.
5. Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu. Kharakterizatsiya udel'noy poverkhnosti drevesiny pri effekte pamyati formy [Characterization of specific wood surface at shape memory effect] *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 2016, v. 6, no. 3 (23), pp. 79–83.
6. Gorbacheva G.A., Olkhov Yu.A., Ugolev B.N., Belkovskiy S.Yu. Research of Molecular-Topological Structure at Shape-Memory Effect of Wood. Proc. of the 57th Int. Convention of SWST «Sustainable Resources and Technology for Forest Products». Zvolen, Slovakia, 2014, pp. 187–195.
7. Gorbacheva G.A., Ugolev B.N., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu., Gorbachev S.A. Methods of characterization of memory effect of wood. *Pro Ligno*, 2015, vol. 11, no. 4, pp. 65–72.
8. Ugolev B., Gorbacheva G., Belkovskiy S. Quantification of wood memory effect. Proc. 2012 IAWA «Wood the Best Material for Mankind» and the 5th International Symposium on the «Interaction of Wood with Various Forms of Energy». Zvolen, Slovakia, 2012, pp. 31–37.
9. Ugolev B.N. Wood as a natural smart material. *Wood Science and Technology. Journal of the International Academy of Wood Science*, 2014, v. 48, no. 3, pp. 553–568.

10. Sposob opredeleniya molekulyarno-massovogo raspredeleniya polimerov [Method for determining the molecular weight distribution of polymers] Pat. 1763952 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 21/00. Ol'khov Yu.A., Irzhak V.I., Baturin S.M.; zayavitel' i patentoobladatel' Otdelenie instituta khimicheskoy fiziki AN SSSR. № 4767397/05, zayavl. 27.10.89, opubl. 23.09.1992, bul. no. 35.
11. Olkhov Yu. A., Jurkowski B. On the more informative version of thermomechanical analysis at compression mode. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2005, v. 81, no. 3, pp. 489–500.
12. Ugolev B.N., Galkin V.P., Gorbacheva G.A., Aksenov P.A., Bazhenov A.V. Izmenenie nanostruktury drevesiny privlagozaderzhannykh deformatsiyakh [Change the nanostructure of wood in moisture delayed deformations] *Nauchnye trudy MGUL*, v. 338 «Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny» [Coll. MSFU Proceedings, v. 338 «Technology and equipment for wood processing»]. Moscow: MGUL publ., 2007, pp. 9–16.
13. Erin'sh P.P. Stroenie i svoystva drevesiny kak mnogokomponentnoy polimernoy sistemy [Structure and properties of wood as a multicomponent polymer system] *Khimiya drevesiny* [Wood Chemistry]. Moscow, 1977, no. 1, pp. 8–25.
14. Sisson A.L., Lendlein A. Advances in actively moving polymers. *Macromol. Mater. Eng.*, 2012, v. 297, pp. 1135–1137.
15. Gorbacheva G.A., Ugolev B.N., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu. Kharakterizatsiya effekta pamyati formy drevesiny buka metodom termomekhanicheskoy spektrometrii [Characterization of the shape memory effect of beech wood by thermomechanical spectrometry] *Moscow state forest university bulletin — Lesnoy vestnik*, 2016, v. 20, no. 4, pp. 10–14.

Author's information

Gorbacheva Galina Aleksandrovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Department of Wood Science and Technology, BMSTU (Mytishchi branch), gorbacheva@mgul.ac.ru

Sanaev Victor Georgievich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Department of Wood Science and Technology, BMSTU (Mytishchi branch), rector@mgul.ac.ru

Belkovskiy Serafim Yurevich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Lecturer of Department of Wood Science and Technology, BMSTU (Mytishchi branch), belkovskiy@ro.ru,

Pastori Zoltan — Ph. D., Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Received 26.06.2017