УДК 630.812

**Г. А. Горбачева,**
к. т. н., Академик ИАВС, доцент кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный техническийуниверситет имени Н. Э. Баумана(национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
*gorbacheva@bmstu.ru*

**К. Деглиз,**
проф., Академик и экс-Президент ИАВС, Академик Французской Академии сельского хозяйства, ENSTIB/LERMaB, Университет Лотарингии, Нанси, Франция,
*xavier.deglise@univ-lorraine.fr*

**Д. И. Деянов,**
магистрант кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
*d.dejanov@yandex.ru*

**С. А. Моисеев,**
магистрант кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
*rf-baf2@mail.ru*

**Д. В. Смирнов,**
магистр кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО«Московский государственный техническийуниверситет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
*luxsordima1996@gmail.com*

**В. Г. Санаев,**
д. т. н., Академик ИАВС, зав. кафедрой ЛТ8-МФ,директор, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО«Московский государственный техническийуниверситет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
*vgsanaev@bmstu.ru*

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФОРМОВОГО ЭФФЕКТА ПАМЯТИ МИКОЛОГИЧЕСКИ РАЗРУШЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

*Необходимость решения более сложных, принципиально новых технологических задач в условиях глобального изменения климата создает потребность в разработке новых многофункциональных материалов на основе древесины. Особенности и характеристики древесины как природного умного материала, способность гибко перестраивать свою структуру в ответ на внешние воздействия, позволяют использовать его для создания новых умных биокомпозитных материалов, интеллектуальных систем и сред. Экспериментальноисследован многоформовый эффект памяти микологически разрушенной древесины. Показано, что образцы древесины, пораженные бурой трещиноватой, белой волокнистой и пестрой ситовой гнилями, могут запоминать 3 формы, проявлять свойства активно движущегося материала при восстановлении постоянной формы в разных температурных интервалах. Определены показатели ЭПФ (Rru Rf) для диапазонов изменения температуры от 100 до 60 °С и от 60 до 20 °С.*

***Ключевые слова:*** *умный материал, многоформовый эффект памяти формы, микологически разрушенная древесина, показатели эффекта памяти формы.*

# EXPERIMENTAL STUDY OF THE MULTISHAPE MEMORY EFFECT OF MYCOLOGICALLY DESTROYED WOOD

**G. A. Gorbacheva,**
Candidate of Technical Sciences, Fellow of IAWS, Associate Professor, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
*gorbacheva@bmstu.ru*

**X. Deglise,**
Emeritus Professor, Fellow and former President of IAWS, Full Member of the French Academy of Agriculture, LERMAB/ ENSTIB, University of Lorraine, Nancy, France,
*xavier.deglise@univ-lorraine.fr*

**D. I. Dejanov,**
master student,Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
*d.dejanov@yandex.ru*

**S. A. Moiseev,**
master student,Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
*rf-baf2@mail.ru*

**D. V. Smirnov,**
master student, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
*luxsordima1996@gmail.com*

**V. G. Sanaev,**
Doctor of Technical Sciences, Fellow of IAWS, Director, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
*vgsanaev@bmstu.ru*

© Горбачева Г. А., Деглиз К., Деянов Д. И., Моисеев С. А., Смирнов Д. В., Санаев В. Г., 2021

*The need to solve more complex, fundamentally new technological problems in the context of global climate change creates the necessary to develop new multifunctional wood-based materials. The features and characteristics of wood as a natural smart material, the ability to flexibly restructuring its structure in response to external influences, allow to use it to create new smart biocomposite materials, intelligent systems and environments. The multishape memory effect of mycologically destroyed wood has been experimentally investigated. It is shown that wood samples destroyed by brown, white and pocket rots can memorize 3 shapes, exhibit the properties of an actively moving material when restoring a permanent shape in different temperature intervals. The shape memory quantities Rr and Rf were determined for the temperature ranges from 100 to 60 ° C and from 60 to 20 ° C.*
***Keywords:*** *smart material, multi-shape memory effect, mycologically destroyed wood, quantities of shape memory effect.*

XXI век ознаменован наступлением эры «умных» (smart, intelligent) материалов [1, 2], выполняющих некоторые «интеллектуальные» функции, которые раньше полностью предназначались для программного обеспечения и электронных схем. Несмотря на значительно число работ в области умных материалов, возможности использования древесины как природного умного материала, возобновляемого ресурса, по запасам которого Российская Федерация занимает второе место в мире [3], исследованы не в полной мере.

Необходимость решения более сложных, принципиально новых технологических задач в условиях глобального изменения климата [4] создает потребность в разработке новых многофункциональных материалов на основе древесины. Особенности и характеристики древесины как природного умного материала, обладающего эффектом памяти формы (ЭПФ), способность гибко перестраивать свою структуру в ответ на внешние воздействия, позволяют использовать его для создания новых умных биокомпозитных материалов, интеллектуальных систем и сред [2, 5]. Программируемое механическое воздействие при эффекте памяти формы позволяет получить широкий спектр возможных реакций на изменение условий окружающей среды. Новые способы защиты и модифицирования древесины значительно расширяют возможности традиционного применения древесины не только на Земле, но и в космосе, например, для изготовления деревянных спутников [6]. Киотский Университет и компания Sumitomo Forestry (Япония) планируют впервые в мире запустить деревянный спутник в 2023 г., чтобы снизить затраты на производство и минимизировать вредное влияние на окружающую среду [6].

Ранее было показано, что древесина проявляет многоформовый эффект памяти древесины и может запоминать несколько временных форм [7]. Для исследования многоформового эффекта памяти микологически разрушенной древесины была разработана методика, предусматривающая получение трех различных форм на одном образце (1 постоянная и 2 временные формы) в разных интервалах температуры при влажности древесины выше предела насыщения клеточных стенок (рис.).

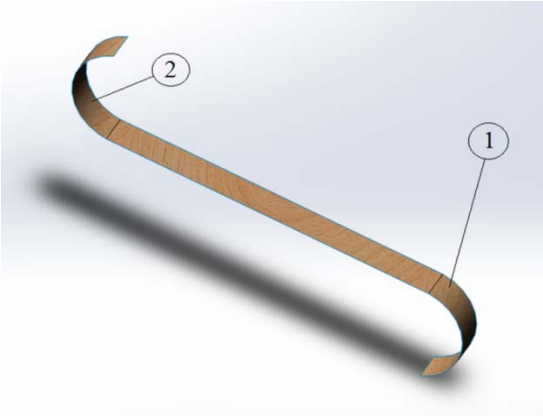


**Рис. 3D-модель нагрузки-разгрузки экспериментального образца (3 формы)**

Цифрой 1 обозначается форма, получаемая снижением температуры от 100 до 60 °С; цифрой 2 – форма, получаемая снижением температуры от 60 до 20 °С.

Для количественной характеристики ЭПФ древесины были использованы показатели для полимеров Rr (доля обратимых деформаций, которая показывает способность материала запоминать постоянную форму) и Rf (доля фиксированных (сет) деформаций, которая отражает способность запоминать временную форму) на основе модели гигро-термомеханических деформаций Б. Н. Уголева [7, 8].

Известно, что микологическое разрушение древесины является следствием изменения ее компонентного состава. Проведение экспериментальных исследований на образцах древесины, пораженных гнилью, позволяет выявить влияние содержания целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина на деформационное поведение древесины и показатели эффекта памяти.

Показатели при многоформовом ЭПФ были определены для образцов бурой трещиноватой, белой волокнистой и пестрой ситовой гнилей для образцов из древесины сосны обыкновенной (*Pinussylvestris* L.), дуба (*Ouercus* L.*)* и ели (*Picea* A. Dietr.), соответственно. Размеры образцов составляли 90×2×2 мм. Значения показателей ЭПФ для древесины ели, пораженной пестрой ситовой гнилью, в диапазоне температур 100–60 °С составили Rr = 0,76, Rf = 0,8, при изменении температуры в интервале 60 – 20 °С Rr = 0,63, Rf= 0,65. Для древесины сосны, пораженной бурой трещиноватой гнилью в диапазоне температур 100–60 °С Rr = 0,73, Rf = 0,56, при изменении температуры в интервале 60–20 °С Rr = 0,69, Rf = 0,53. В работе [9] высказано предположение, что гемицеллюлозы отвечают за механизм фиксации формы (Rf), а лигнин – восстановления формы (Rr). Однако, как следует из полученных результатов, величина показателя Rr для образца бурой трещиноватой гнили, несмотря на значительно большее содержание лигнина [10–12], практически не отличается от показателя для пестрой ситовой гнили. Ранее нами было показано, что образец пестрой ситовой гнили восстановился больше по сравнению с нативной древесиной, несмотря на снижение содержания лигнина [13]. Проведенные экспериментальные исследования ЭПФ нативной древесины методами ИК-спектроскопии (совместно с ИФТТ РАН [14]) и термомеханической спектрометрии (совместно с ИПХФ РАН [15]) показали изменения в аморфных областях целлюлозы, системе водородных связей, трансформацию топологической структуры древесины при переходе от временной формы к постоянной, поэтому необходимы дополнительные исследования для прояснения влияния компонентов клеточной стенки на проявление ЭПФ.

Таким образом, экспериментально получены количественные показатели при многоформовом ЭПФ для образцов бурой трещиноватой, белой волокнистой и пестрой ситовой гнилей. Несмотря на различные типы гниения и изменения компонентного состава клеточной стенки, микологически разрушенная древесина способна запоминать 2 временные формы, восстанавливать постоянную форму и проявлять свойства активно движущегося материала при восстановлении постоянной формы в разных температурных интервалах. Результаты работы будут использованы для создания новых биоразлагаемых многофункциональных материалов, способных работать в условиях переменной температуры и влажности.

Исследования были выполнены в рамках Договора о научном и академическом сотрудничестве между ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана» (национальный исследовательский университет)» и Университетом Лотарингии (г. Нанси, Франция).

Исследования проводились в лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр физико-механических испытаний древесины» (ЦКП ЦФМИД) Мытищинского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана» (национальный исследовательский университет)».

**Список литературы**

1. Takagi T. A Concept of Intelligent Materials // Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 1990, 1(2). P. 149–156.
2. Ugolev B. N. Wood as a natural smart material // Wood Science and Technology. 2014. 48(3). P. 553–568.
3. FAO. 2020. Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome. https://doi.org/10.4060/ca9825en.
4. Deglise X. «Ecological management» of forests and wood products // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2017. Vol. 21, № 4. P. 6–9. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-6-9.
5. Gorbacheva G. Wood as a Smart Material for Smart Buildings // 2021 6th International Conference on Building Materials and Construction, 2021 International Civil Engineering and Architecture Conference, 2021 9th International Conference on Manufacturing Engineering and Processes, WEB Conference during March 11–14, 2021. Singapore, 2021. P. 11–12.
6. World's first wooden satellite to be launched by Japan in 2023 https://asia.nikkei.com/Business/Science/World-s-first-wooden-satellite-to-be-launched-by-Japan-in-2023.
7. Уголев Б. Н., Горбачева Г. А., Белковский С. Ю. Многоформовый эффект памяти древесины // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. Т. 18, № 2. С. 62–65.
8. Уголев Б. Н., Галкин В. П., Горбачева Г. А., Калинина А. А., Белковский С. Ю. Экспериментальные исследования влияния наноструктурных изменений древесины на ее деформативность // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2012. № 7. С. 124–126.
9. Plaza N., Zelinka S. L., Stone D. S., Jakes J. E. Plant-based torsional actuator with memory // Smart Materials and Structures, 2013, 22 (7), 072001. doi:10.1088/0964-1726/22/7/072001.

10. Азаров В. И., Кононов Г. Н., Горячев Н. Л. Изучение компонентного состава микологически разрушенной древесины // Научные труды МГУЛ. Вып. 358. М., 2012. С. 126–131.
11. Ванин С. И. Древесиноведение. Ленинград : Гослестехиздат, 1940. 460 с.
12. Кононов Г. Н. Химия древесины и ее основных компонентов. М. : МГУЛ, 2002. 259 с.
13. Горбачева Г. А., Уголев Б. Н., Санаев В. Г., Тарасов М. В., Смирнов Д. В., Морозова А. И. Экспериментальное исследование показателей эффекта памяти формы микологически разрушенной древесины // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса : сб. науч. трудов III Междунар. науч.-техн. конф. / отв. ред. С. А. Угрюмов, Т. Н. Вахнина, А. А. Титунин. Кострома : КГТУ, 2015. С. 9–12.
14. Уголев Б. Н., Галкин В. П., Горбачева Г. А., Баженов А. В. Влажностные и силовые деформации древесины // Материалы всерос. конф. «Дендроэкология и лесоведение». Красноярск : Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. С. 163–165.
15. Gorbacheva G. A., Olkhov Yu. A., Ugolev B. N., Belkovskiy S. Yu. Research of Molecular-Topological Structure at Shape-Memory Effect of Wood. Proceedings 57th International Convention of SWST «Sustainable Resources and Technology for Forest Products». 2014. Zvolen, Slovakia. P. 187–195.

УДК 630.8

**X. Deglise,**
Emeritus Professor, Fellow and former President of IAWS, Full Member of the French Academy of Agriculture, LERMAB/ ENSTIB, University of Lorraine, Nancy, France,
*xavier.deglise@univ-lorraine.fr*

**G. A. Gorbacheva,**
Candidate of Technical Sciences, Fellow of IAWS, Associate Professor, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
*gorbacheva@bmstu.ru*

**V. G. Sanaev,**
Doctor of Technical Sciences, Fellow of IAWS, Director, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
*vgsanaev@bmstu.ru*

## BACK TO THE FUTURE OF WOOD – RETURN OF WOOD ERA

*At the beginning of Mankind, wood was the only resource to fulfill the housing and energy needs of the population. After numerous successive periods we are now in the worst situation that we have ever known, with global warming which endangers our life on earth! In this paper we will show that to solve the problem of global warming we need to return to wood Era by using more wood in the construction of houses and buildings and more wood for energy without too much drawbacks like resources and pollution!*
***Keywords:*** *forest, wood material, building, wood energy, wastes.*

**К. Деглиз**,
проф., Академик и экс-президент ИАВС, Академик Французской Академии сельского хозяйства, ENSTIB/LERMaB, Университет Лотарингии, Нанси, Франция,
*xavier.deglise@univ-lorraine.fr*

**Г. А. Горбачева,**
к. т. н., Академик ИАВС, доцент кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана(национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
*gorbacheva@bmstu.ru*

**В. Г. Санаев**,
д. т. н., Академик ИАВС, зав. кафедрой ЛТ8-МФ, директор, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
*vgsanaev@bmstu.ru*

## НАЗАД В БУДУЩЕЕ – ВОЗВРАЩЕНИЕ ЭПОХИ ДРЕВЕСИНЫ

*На заре человечества древесина была единственным ресурсом для удовлетворения жилищных и энергетических потребностей населения. После нескольких последовательных периодов мы оказались в худшей ситуации, которую мы когда-либо знали, с глобальным потеплением, которое ставит под угрозу нашу жизнь на Земле! В этой статье мы покажем, что для решения проблемы глобального потепления нам необходимо вернуться в эру древесины, используя больше древесины для строительства домов и зданий, для производства энергии без особых недостатков, таких как уменьшение ресурсов и загрязнение!*
***Ключевые слова:*** *лес, древесный материал, строительство, древесина как источник энергии, отходы.*

© Deglise X., Gorbacheva G. A., Sanaev V. G., 2021