

Е. С. Шарапов, А. С. Королев, А. Р. Хисамеева

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПО ГОДИЧНЫМ СЛОЯМ

*Ключевые слова:* термически модифицированная древесина, плотность древесины, денситометрия, свойства древесины, годичный слой, сосна, бук, ясень.

*Статья посвящена изучению изменения свойств термически модифицированной древесины. Разработана методика определения плотности древесины по годичным слоям с использованием рентгеновского излучения на лабораторной установке DA-X фирмы «GreCon», Германия. Представлены результаты экспериментальных исследований изменения плотности термически модифицированной древесины по годичным слоям для пород сосны (*Pinus sylvestris*), бука (*Fagus sylvatica*) и ясеня (*Fraxinus excelsior*).*

*Keywords:* thermally modified timber, an intra-density, densitometry, wood properties, annual ring, pine, beech, ash.

*The article is devoted to the study of thermally modified timber properties changing. The technique of intra-annual wood density determination using X-rays in a laboratory device DA-X company «GreCon», Germany are provided. The results of experimental researches of intra-annual density changes of thermally modified pine (*Pinus sylvestris*), beech (*Fagus sylvatica*), ash (*Fraxinus excelsior*) are presented.*

### Введение

Древесина - наиболее распространенный сырьевой материал, используемый в различных отраслях промышленности, в том числе целлюлозно-бумажной, мебельной, строительных материалов. К основным преимуществам древесины относятся её возобновляемость и экологичность использования, а также уникальные физико-механические свойства. Одним из физических свойств, характеризующих качество древесины, является плотность, однако она изменчива по радиусу и высоте ствола, что особенно заметно у хвойных и кольцесосудистых лиственных. Также значительное влияние на величину плотности оказывают ширина годичного слоя, анатомическое строение, соотношение ранней и поздней зоны годичного слоя, влажность, возраст, порода и пороки (сучки, трещины, грибные поражения).

Сегодня существует более двух десятков способов определения плотности древесины. Выбор того или иного способа зависит от многих факторов. Одними из современных методов определения плотности древесины по годичным слоям являются метод рентгеновской денситометрии и метод измерения усилия сопротивления просверливанию древесины тонким буровым сверлом [1], которые позволяют с высокой точностью определять как профиль изменения плотности древесины по годичным слоям, так и среднюю плотность образцов древесины.

Существует множество исследований, которые подтвердили наличие корреляции между плотностью и шириной годичного слоя у хвойных пород. Так, например, более широкие годичные слои у сосны дают менее плотную древесину. У кольцесосудистых пород (дуб, ясень), наоборот, с увеличением ширины годичных слоев плотность увеличивается [2, 3]. Величина плотности в значительной степени влияет на другие физические и многие механические свойства древесины. Установлена связь показателей прочностных и деформативных свойств древесины с её плотностью [2]. Наиболее тесной является связь с пределом прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе, но связь с прочно-

стью на растяжение и ударный изгиб является непрочной. На основании представленных выше данных можно заключить, что плотность является важной качественной характеристикой древесины [4], которую необходимо учитывать при дальнейшем использовании древесины и древесных материалов.

К одному из современных древесных материалов можно отнести термически модифицированную древесину (ТМД) [5]. ТМД – это древесина, которая подвергается нагреву от 160°C, например, в среде водяного пара. В результате такой обработки древесина приобретает повышенную биологическую стойкость, низкую гигроскопичность, увеличивается срок её службы, что способствует повышению спроса на данный продукт на рынке строительных материалов [6]. Однако многие отечественные и зарубежные ученые отмечают изменение её физико-механических свойств, что, безусловно, связано с химическим изменением древесины после термической обработки. Некоторые исследователи утверждают, что статический модуль упругости при термической обработке увеличивается, однако при увеличении времени обработки данный показатель снижается. Статический предел прочности на изгиб уменьшается с начала процесса термической обработки и зависит от максимальной температуры и времени процесса. Отмечается, что важным параметром, влияющим на физико-механические характеристики ТМД, является влажность [7].

Цель настоящей работы - определение влияния термической обработки на изменение плотности древесины по годичным слоям.

Общий план экспериментальных исследований включал несколько этапов:

1) изготовление образцов древесины (сосна (*Pinus sylvestris*), бук (*Fagus sylvatica*), ясень (*Fraxinus excelsior*)) с учетом направления волокон;

2) кондиционирование образцов древесины до нормализованной влажности при 65% относительной влажности воздуха и температуре окружающей среды 20°C по ГОСТ 16483.0-89;

3) измерение профиля плотности образцов по годичным слоям с использованием рентгеновского излучения (рентгеновской денситометрии, устройство DA-X фирмы «GreCon», Германия) до термической модификации образцов древесины;

4) термическая модификация образцов древесины в среде водяного перегретого пара при максимальных температурах обработки 180°C, 200°C и 220°C;

5) кондиционирование образцов термически модифицированной древесины по ГОСТ 16483.0-89 с последующим измерением профиля плотности образцов по годичному слою;

6) определение величины потери массы образцов древесины после термической обработки

7) обработка экспериментальных данных в программном комплексе «Statistica 8.0»: определение коэффициентов кросс-корреляции и лагов наиболее существенной взаимосвязи между рядами данных изменения плотности древесины; расчет среднего значения плотности древесины до и после термической модификации.

### Экспериментальная часть

Для проведения исследований было изготовлено по 20 образцов каждой породы заболонной древесины размером 50×50×20 мм малой и средней плотности трех пород: сосны (*Pinus sylvestris*), бука (*Fagus sylvatica*), ясеня (*Fraxinus excelsior*). Кондиционирование производилось до нормализованной влажности в климатической камере Binder KBF-240. С целью максимально точного определения плотности по годичным слоям были изготовлены радиальные образцы с параллельным расположением годичных слоев.



Рис. 1 – Лабораторная установка DA-X для контроля плотности древесины и древесных материалов

Профиль плотности образцов древесины (годовых слоев) определялся на лабораторной установке DA-X фирмы «GreCon» (рис.1.) в университете Георга-Августа, Германия (Abteilung Holztechnologie und Holzwerkstoffe, Georg-August-Universität Göttingen, 2011) на кафедре технологии деревообработки и древесных композиционных материалов.

Геометрические параметры образцов определялись с точностью 0,01 мм, а профиль плотности определялся сразу на нескольких образцах с разрешением в 50 значений на миллиметр на лабораторной установке DA-X. Проникновение рентгеновского излучения осуществлялось по центральному се-

чению образца по годичным слоям. Использование радиальных образцов и их просвечивание поперек либо в торец волокон (в зависимости от варианта изготовления образцов) позволили наиболее точно определить изменение плотности в ранних и поздних зонах годичных слоев. Результаты измерений отображались и сохранялись на ЭВМ.

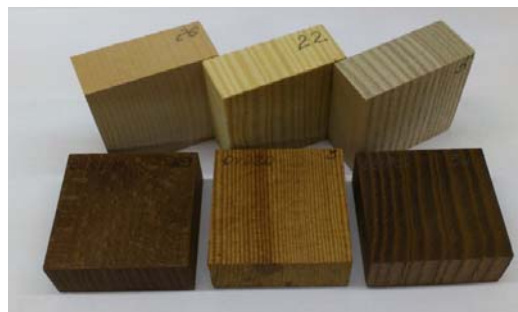


Рис. 2 – Исследуемые радиальные образцы обычной древесины (сверху) и древесины, термически модифицированной при 220°C (снизу) с параллельным расположением годичных слоев, слева направо: бук (*Fagus sylvatica*), сосна (*Pinus sylvestris*), ясень (*Fraxinus excelsior*)

Термическая модификация происходила в специализированной пароконвекционной камере в среде перегретого водяного пара в соответствии с технологией «ThermoWood» при максимальных температурах 180°C, 200°C и 220°C [8]. После модификации образцы снова кондиционировались до нормализованной влажности. Затем заново производились измерения величины плотности по годичным слоям с использованием рентгеновского излучения. На отдельной партии образцов определялась потеря массы древесины в ходе термической обработки.

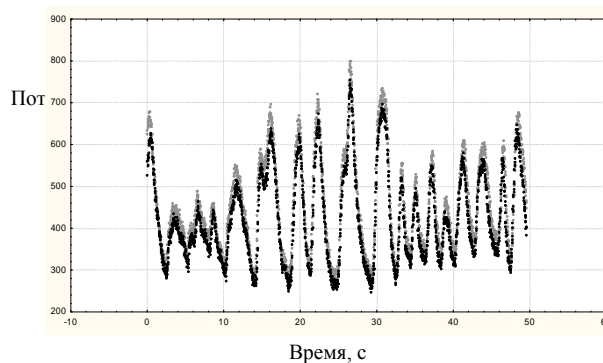


Рис. 3 – Профиль изменения плотности ( $\rho_{12}$ ), полученный на рентгеновской установке для древесины сосны до термической модификации (серый цвет) и для древесины, модифицированной при 220°C (черный цвет)

Сопоставление данных, полученных на рентгеновской установке до и после термической обработки, в виду изменения геометрических размеров после процесса термической модификации проводилось при помощи программного пакета «Statistica 8.0».

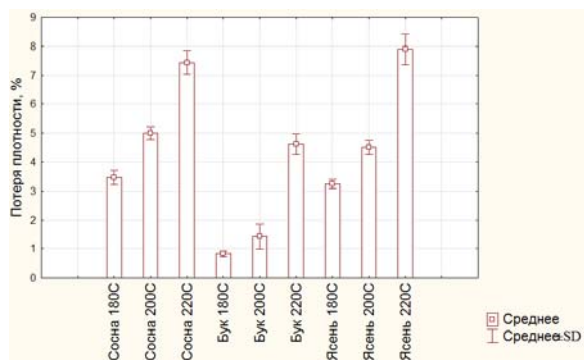
При первоначальном сравнении рядов данных обнаружилось незначительное смещение их относительно друг друга. В связи с этим определялись коэффициенты кросс-корреляции рядов данных

по образцам, отобраным для дальнейшего регрессионного анализа. На основании коэффициентов кросс-корреляции определялись лаги наиболее существенной взаимосвязи между рядами данных изменения плотности образцов древесины по годовым слоям. После этого осуществлялись их смещение и построение совмещенных графиков рядов данных для всех образцов (рис. 3).

### Результаты и обсуждения

Профили изменения плотности образцов древесины, полученные на рентгеновской установке, в целом совпадали до и после процесса термической модификации. Однако во всех образцах на участках ранних и поздних зон годовичных слоев, подверженных термической обработке, наблюдается снижение плотности образцов (рис. 3), что, безусловно, связано с химическим изменением древесины после процесса термической модификации.

На рисунке 4 представлена диаграмма изменения плотности древесины после процесса термической модификации при максимальных температурах обработки 180°C, 200°C и 220°C. Плотность древесины сосны, модифицированной при 180°C, уменьшилась в среднем на 3,34%, а при 200 °C и 220°C – соответственно на 5% и 7,44%.



**Рис.4 – Изменение плотности древесины после термической модификации в среде водяного перегретого пара для пород: бук (*Fagus sylvatica*), сосна (*Pinus sylvestris*), ясень (*Fraxinus excelsior*)**

Плотность древесины бука в процессе термической обработки при 180°C уменьшилась на 0,825% - на 200°C и 220°C потеря плотности составила 1,421% и 4,622% соответственно. Для древесины ясеня, модифицированной при 180°C, потеря плотности составила 3,24%, при 200°C и 220°C – соответственно 4.51% и 7.9%.

Наименьшая потеря плотности в результате термической обработки наблюдается у древесины бука, а величина потери плотности у пород древесины сосны и ясеня в среднем равнозначна.

В целом наблюдается уменьшение плотности образцов по годовичным слоям после процесса

термической модификации, при использовании рентгеновского излучения. Величина плотности зависит от максимальной температуры и продолжительности термической обработки.

### Заключение

Проведены исследования по определению влияния термической модификации на изменение плотности древесины бука (*Fagus sylvatica*), сосны (*Pinus sylvestris*), ясеня (*Fraxinus excelsior*) по годовичным слоям при использовании рентгеновского излучения. Величина потери плотности может быть альтернативой потере массы ТМД при описании ее механических свойств.

Способ определения плотности при помощи рентгеновского излучения в настоящее время является одним из наиболее точных неразрушающих методов определения свойств древесины и древесных материалов и может быть использован при анализе физических характеристик ТМД, а также прогнозировании ее механических свойств.

Результаты исследований будут использованы при планировании исследований и обработке экспериментальных данных процессов обработки ТМД резанием.

### Литература

1. Шарапов, Е.С. Результаты экспериментальных исследований свойств древесины круглых лесоматериалов по радиусу ствола / Е.С. Шарапов, А.С. Торопов, В.Ю. Чернов // Вестник Московского госуд. ун-та леса – Лесной вестник. 2012. №2. С. 162–167.
2. Полубояринов, О.И. Плотность древесины / О.И. Полубояринов. М.: Лесная промышленность, 1976. 160 с.
3. Уголев, Б.И. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.И. Уголев. М.: Лесная промышленность, 2001. 368 с.
4. Федюков, В.И. Ранняя диагностика технического качества подростка как важный элемент интенсификации лесопользования в России / В.И. Федюков, Е.Ю. Салдаева, Е.М. Цветкова // Лесной журнал. 2012. №6. С. 16-23.
5. Сафин, Р.Р. Вакуумно-конвективное термомодифицирование древесины в среде перегретого пара / Р.Р. Сафин, Р.Г. Сафин, А.Р. Шайхутдинова // Вестник Казан. технол. ун-та. 2011. №6. С.93-99.
6. Сафин, Р.Г. Гипотетическая схема процессов физико-химической переработки древесных материалов, сопровождающихся выбросами вредных веществ в атмосферу / Р.Г. Сафин и др. // Вестник Казан. технол. ун-та. 2013. Т.16, №6. С.43-45.
7. Шарапов, Е.С. Экспериментальные исследования физико-механических свойств термически модифицированной древесины сосны / Е.С. Шарапов, Karl-Christian Mahnert, А.С. Королев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2013. № 2. С. 90–96.
8. Finnish Thermo Wood Association (2003). ThermoWood Handbook. Helsinki, Finland.