

УДК 630*812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.124

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ТРЕБОВАНИЯМ К ПРОДУКЦИИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ*

А.А. Тамби, канд. техн. наук, доц.

А.Н. Чубинский, д-р техн. наук, проф.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021;
e-mail: a_tambi@mail.ru

Прогнозирование физико-механических свойств древесины является важной и актуальной задачей в процессе изготовления конструкционных пиломатериалов. При несоответствии плотности и зависящей от нее прочности древесины конструкционных пиломатериалов расчетным характеристикам она не может быть использована в производстве несущих конструкций, что снижает коэффициент использования древесины и увеличивает стоимость готовых изделий. Разработан метод оценки плотности древесины эксплуатационной влажности на этапе лесозаготовки, основанный на оценке ее базисной плотности, что позволяет присваивать определенные качественные индексы лесным массивам до проведения лесозаготовительных работ. Исследования выполнены для групп модельных деревьев сосны и ели, заготовленных в разных частях Ленинградской области. За критерий оценки качества древостоев принята плотность древесины при влажности 12 %. Получены модели, описывающие связь между базисной плотностью древесины сосны и ели и плотностью древесины влажностью 12 % в деловой части хлыста. Внедрение разработанного метода в практику лесных хозяйств возможно путем введения индексов лесосек, указывающих на качественные характеристики растущих деревьев и их соответствие определенным видам продукции исходя из требуемой заказчиками плотности древесины. Дополнение существующих таксационных характеристик индексом соответствия лесных массивов позволит разделять круглые лесоматериалы по стоимости.

Ключевые слова: базисная плотность древесины, функция плотности, физические свойства древесины, индекс лесосеки.

Введение

Увеличение объемов промышленного производства продукции из древесины, создание новых товаров, различных по виду и назначению, требуют разработки и внедрения новых методов сортообразования пиломатериалов. Кроме требований государственных стандартов, сортообразование по которым основывается на внешнем виде сортиментов, при изготовлении несущих конструкций необходимо учитывать их физико-механические свойства.

* Исследования выполнены в рамках работ по теме ГР 01201463693.

Наиболее значимыми из них являются влажность и плотность древесины, во многом определяющие эксплуатационные свойства продукции. При изготовлении не несущих (обшивочных или ограждающих) материалов влияние пороков (сучков, трещин, коробления и т.д.) на свойства древесины может быть частично снижено путем внедрения в производственный процесс операций по вырезке дефектных мест и сращиванию заготовок, что позволяет увеличить выход конечной продукции.

При несоответствии плотности и зависящей от нее прочности [11] древесины конструкционных пиломатериалов определенного сечения расчетным (справочным) характеристикам, она не может быть использована в производственном процессе изготовления несущих конструкций. Повышение несущей способности пиломатериалов низкой прочности возможно за счет увеличения их сечения. Но прочность пиломатериалов определяют после их выпилки и гидротермической обработки, когда сечение уже сформировано.

С позиций рационального природопользования целесообразно оценивать плотность древесины перед механической обработкой, разделяя круглые лесоматериалы по физическим свойствам. Существующие методы [8, 10, 12–21] позволяют выполнять такую оценку на этапе раскряжевки хлыстов или при оценке круглых лесоматериалов непосредственно на деревоперерабатывающем предприятии. При несоответствии свойств древесины требованиям к конструкционным материалам предприятие может использовать такие сортаменты для изготовления иной продукции, например доски обшивочной, но при этом будет испытывать дефицит в сырье для изготовления товаров конструкционного назначения.

По этой причине необходимо оценивать свойства древесины непосредственно на лесных участках, предназначенных для проведения рубок главного пользования. Определение физических свойств древесины растущих деревьев позволит присваивать определенные качественные индексы лесным массивам до проведения лесозаготовительных работ. Такой подход увеличит спецификационный выход готовой продукции и изменит методы экономической оценки лесосек не только на основании размерных, но и качественных характеристик древостоев.

Методы исследования

Целью исследования является обоснование метода оценки плотности древесины эксплуатационной влажности на этапе лесозаготовительных работ. Разработанная методика основана на зависимости между базисной плотностью древесины, определяемой с помощью керн на высоте 1,3 м, и плотностью древесины на определенной высоте ствола.

Количество модельных деревьев и подготовка образцов соответствует ГОСТ 16483.6–80 «Древесина. Метод отбора модельных деревьев и кряжей для определения физико-механических свойств древесины насаждений»,

оценка свойств древесины – ГОСТ 16483.0–89 «Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям».

В качестве критерия оценки качества древостоев принята плотность древесины при влажности 12 %. Исследовали древесину нескольких групп модельных деревьев сосны и ели, заготовленных в районах Ленинградской и Псковской областей: Всеволожском, Выборгском, Киришском, Приозерском. Такой подход позволил учесть различные условия произрастания. Образцы для определения базисной плотности по радиусу ствола дерева заготавливали на высоте 1,3 м с помощью керн диаметром 12 мм и длиной 40 см. У полученных образцов определяли объем, затем высушивали древесину до абсолютно сухого состояния и по известной методике [9] определяли базисную плотность. Затем из ствола (в соответствии с методикой [5]) выпиливали с шагом 1 м секции, которые кондиционировали до достижения равновесной влажности 12 %, после чего определяли среднюю плотность древесины по сечению.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования плотности древесины сосны и ели (влажность 12 %), заготовленной в Ленинградской области, приведены в таблице.

Средняя плотность древесины влажностью 12 % по сечению хлыста из разных мест заготовки

Высота ствола, м	Сосна				Ель		
	Пос. Сосново	г. Кириши	г. Приозерск	г. Псков	г. Выборг	пос. Матокса	г. Псков
	Средняя плотность древесины по сечению ρ_{12} , кг/м ³ , при базисной плотности ρ_b на высоте 1,3 м, кг/м ³						
	472	432	416	379	350	340	325
1	598,0	525,1	518,5	469,2	390,0	393,0	333,8
2	533,5	524,9	492,9	452,2	442,3	425,5	348,7
3	493,1	524,1	476,8	420,5	432,7	416,6	334,1
4	483,8	493,8	493,5	416,1	425,0	417,5	416,5
5	474,4	519,1	485,8	424,0	430,3	388,0	385,2
6	488,3	511,7	456,7	409,9	439,8	409,8	389,1
7	518,2	478,2	478,1	397,9	424,9	424,9	396,0
8	499,8	468,3	444,0	427,8	429,9	422,9	422,9
9	498,7	473,7	479,8	428,0	443,4	435,8	407,6
10	482,5	485,3	454,7	412,3	432,9	432,1	417,0
11	477,3	490,7	425,9	418,5	405,0	430,0	440,0
12	471,2	480,5	444,5	417,2	452,2	435,4	415,0
13	488,4	467,2	448,4	414,6	441,4	431,8	427,4
14	472,9	462,8	488,0	426,3	452,2	451,0	442,0
15	460,0	479,9	490,0	410,5	468,2	438,2	437,2
16	–	–	445,2	408,7	460,7	466,3	428,1
17	–	–	442,9	406,1	458,0	454,6	445,7
18	–	–	453,2	–	489,1	473,7	488,1

Математическая обработка результатов исследования выполнена с помощью пакета регрессионного анализа в среде MS Excel.

В результате проведенных исследований получены математико-статистические модели, описывающие связь между базисной плотностью древесины сосны (1) и ели (2) и плотностью (функция плотности) древесины влажностью 12 % в деловой части хлыста (R^2 соответственно 0,67 и 0,70).

$$\rho_{12} = 162,5 + 0,788\rho_6 - 3,22L; \quad (1)$$

$$\rho_{12} = 1,22\rho_6 + 4,46L - 29,1, \quad (2)$$

где L – высота, на которой определяется средняя плотность древесины, м.

Графически результаты исследования связи базисной плотностью древесины на высоте 1,3 м со средними значениями плотности древесины по высоте ствола при влажности 12 % отображены на рис. 1, 2.

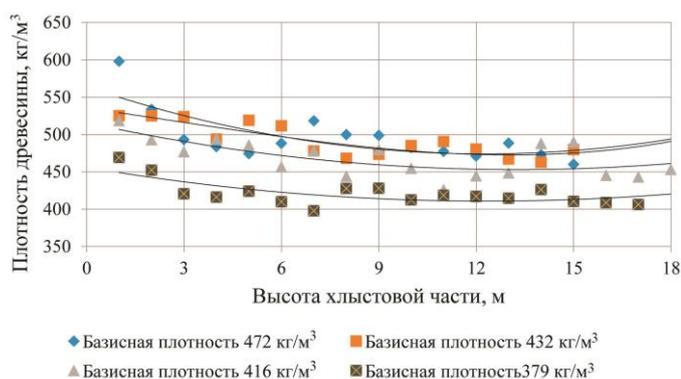


Рис. 1. Средняя плотность древесины по высоте деловой части хлыста сосны при влажности 12 % и разной базисной плотности, определенной на высоте 1,3 м

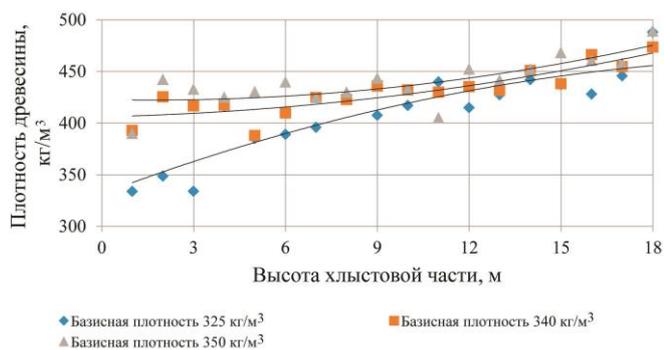
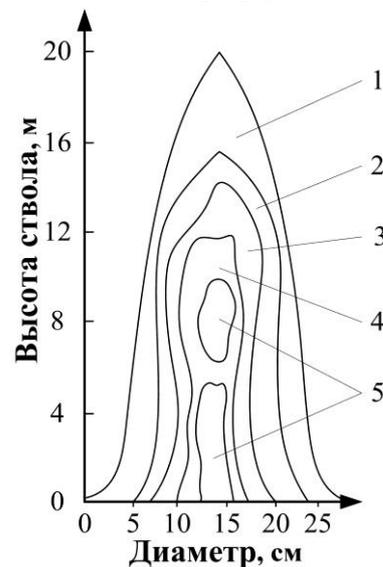


Рис. 2. Средняя плотность древесины по высоте деловой части хлыста ели при влажности 12 % и разной базисной плотности, определенной на высоте 1,3 м

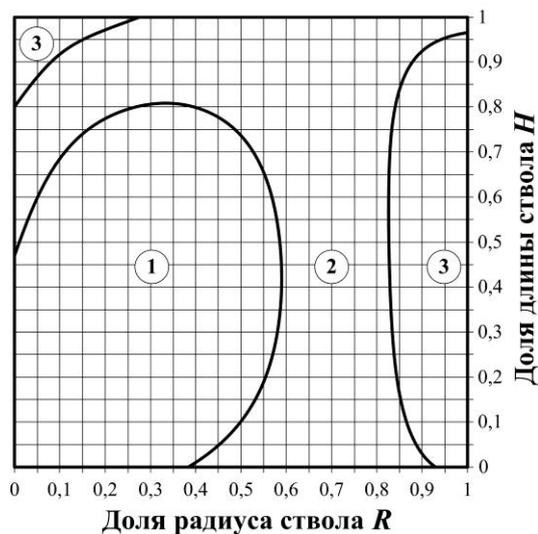
Полученные результаты хорошо согласуются с известными ранее [5, 6, 9, 10] (рис. 3) и не противоречат закономерностям распределения массы древесины (функции плотности) в стволе дерева влажностью 12 % [15] (рис. 4, 5).

Рис. 3. Денситограмма ствола ели [5] при различной базисной плотности древесины, кг/м³: 1 – свыше 401; 2 – 381...400; 3 – 361...380; 4 – 341...360; 5 – менее 340



Представленные на рис. 4, 5 значения плотности древесины в различных частях ствола ели и сосны объясняют снижение степени корреляции R^2 для уравнений (1), (2) до 0,67 и 0,70, поскольку на высоте 1,3 м, где осуществляется отбор проб для проведения испытаний, находится древесина разной плотности (зоны 3 и 4).

Рис. 4. Плотность древесины в различных частях ствола ели при влажности 12 %, кг/м³: 1 – 350...400; 2 – 400...450; 3 – 450...500



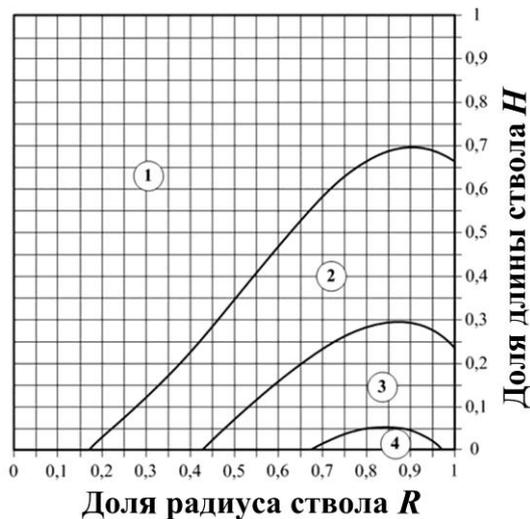


Рис. 5. Плотность древесины в различных частях ствола сосны (влажность 12 %), кг/м³:
 1 – 400...450; 2 – 450...500; 3 – 500...550;
 4 – 550...600

Плотность у древесины ели увеличивается от сердцевины к заболони, у древесины сосны снижается от комля к вершине, однако эти изменения неравномерны. Поскольку плотность древесины ели и сосны при влажности 12 % изменяется в широком диапазоне от 350 до 500 и от 400 до 600 кг/м³ соответственно, уменьшение доли любой из зон оказывает значительное влияние на базисную плотность, вследствие чего становится возможной реализация на практике разработанного метода оценки качества древостоев.

Анализируя рис. 1, 2 и 4, 5, можно сделать вывод о необходимости принятия решения о длине и положении в стволе сортиментов, формируемых из хлыста на основании знания физических свойств древесины в каждой единице объема, что позволяет разделять круглые лесоматериалы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к готовой продукции.

Статистический анализ зависимостей (1) и (2) указывает на среднюю и высокую степень взаимосвязи между исследованными переменными, что позволяет судить о целесообразности использования разработанного метода при качественной оценке назначения лесного фонда.

Внедрение предлагаемого метода в практику лесных хозяйств путем введения индексов лесосек, указывающих, помимо известных таксационных параметров, на качественные характеристики растущих деревьев и их пригодность для изготовления разных видов продукции [1–4, 7]. Так, по требованиям, предъявляемым к плотности конструкционных материалов длиной 6 м (не менее 505 кг/м³ при влажности 12 %) могут быть определены требования к

заготавливаемой древесине, удовлетворяющей этому условию. Например, исходя из рис. 1 и формулы (1), для изготовления конструкционных материалов необходимо использовать древесину сосны, имеющей базисную плотность на высоте 1,3 м более 455 кг/м. Лесосекам, на которых произрастает древесина с такими характеристиками, необходимо присваивать высший индекс и отправлять комлевые части бревен на предприятия по выпуску конструкционных пиломатериалов. Подобным образом могут быть присвоены индексы для каждого вида продукции при формализации требований к плотности древесины.

Оценку качества лесосеки и присвоение ей индекса целесообразно выполнять в следующей последовательности:

получение таксационных характеристик лесных насаждений на лесном участке;

определение потребного количества модельных деревьев в соответствии с ГОСТ 16483.6–80, из которых керном высверливают пробы для определения базисной плотности древесины;

расчет качественного индекса лесосеки;

установление функции плотности древесины круглых лесоматериалов с использованием компьютерной и магнитно-резонансной томографии или стандартным способом на деревообрабатывающем предприятии;

уточнение-адаптация (при необходимости) модели для различных гео-климатических условий роста деревьев.

Выводы

1. Установленная в результате исследований связь между базисной плотностью растущего дерева и плотностью при нормализованной влажности позволяет осуществлять оценку качества древостоев по плотности, требования к которой зависят от назначения готовой продукции.

2. Разработанный алгоритм дает возможность присваивать лесосекам индексы соответствия определенным видам продукции исходя из требуемой заказчиком плотности древесины.

3. Дополнение существующих таксационных характеристик индексам соответствия лесных массивов позволяет осуществлять дифференцирование круглых лесоматериалов по стоимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Куницкая О.А. Обоснование методики оценки экологической эффективности лесопользования // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 6. С. 72–77.

2. Данилов Д.А. Закономерности структурных изменений в сосновых и еловых древостоях на объектах комплексного ухода за лесом: автореф. дис. канд. с.-х. наук. СПб.: СПбГЛТУ, 2011. 21 с.

3. Пальчиков С.Б., Баранов А.Ф. Вопросы необходимости ведения мониторинга состояния насаждений с использованием современных методов дендрохронологических исследований // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2014. № 5. С. 116–121.

4. Петров В.Н., Чубинский А.Н., Смирнова А.И., Тамби А.А. Экономическое обоснование целесообразности сортировки пиловочника по качественным признакам// Изв. СПбГЛТУ. 2011. № 19. С. 273–279.
5. Полуобояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
6. Рябчук В.П., Юскевич Т.В., Гриб В.М. Физические свойства древесины видов рода сосна// Лесн. журн. 2013. №5. С. 160–169. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Соколов А.П., Сюнёв В.С. Логистическая концепция организации лесозаготовительного производства// Ученые записки ПетрГУ. Серия «Естеств. и техн. науки». 2014. № 4 (141). С. 88–95.
8. Тамби А.А., Тепноев А.В., Шимкевич Ю.А., Гальсман И.Е. Методика применения магнитно-резонансной томографии для оценки внутреннего строения и влажности круглых лесоматериалов // Изв. СПбГЛТУ. 2013. № 203. С. 100–107.
9. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. 4-е изд. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.
10. Люнжетюд Ф., Моте Ф., Бахшиева М.А., Чубинский А.Н., Шарпентье П., Бомбардые В., Тамби А.А. Исследование процесса идентификации древесных пород по макроскопическим признакам с использованием компьютерной томографии// Изв. СПбГЛТУ. 2013. № 202. С. 158–168.
11. Хухрянский П.Н. Прочность древесины. М.: Гослесбумиздат, 1955. 152 с.
12. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Хитров Е.Г., Шимкевич Ю.А., Семешкур С.О. Обоснование объемного выхода пиломатериалов для клееных деревянных конструкций на основе физических свойств древесины// Изв. СПбГЛТУ. 2014. № 206. С. 146–154.
13. Bhandarkar S.M., Faust T.D., Tang M. Catalog: a system for deflection and rendering of internal log defects using computer tomography// Machine Vision and Applications. N 11. P. 171–190.
14. Bucur V. Nondestructive Characterization and Imaging of Wood. Berlin, 2003.
15. Chubinskii A.N., Tambi A.A., Teppoev A.V., Anan'eva N.I., Semishkur S.O., Bakhshieva M.A. Physical Nondestructive Methods for the Testing and Evaluation of the Structure of Wood Based Materials// Russian Journal of Nondestructive Testing. 2014. N 50 (11). P. 693–700.
16. Colin F., Mothe F., Freyburger C., Leban J.M., Morisset J.B., Fontaine F. Tracking rameal traces in sessile oak trunks with X-ray computer tomography: biological bases, preliminary results and perspectives// Trees. 2010.
17. Freyburger C., Longuetaud F., Mothe F., Constant T., Leban J.M. Measuring wood density by means of X-ray computer tomography// Annals of Science. 2009. N 66. P. 804–813.
18. Liang S., Fu F. Relationship Analysis Between Tomograms and Hardness Maps in Determining Internal Defects in Euphrates Poplar// Wood Research. 2012. N 57 (2). P. 221–230.
19. Rinn F. Technische Grundlagen der Impuls-Tomographie// Baumzeitung. 2003. N 8. P. 29–31.
20. Ross R.J., Pellerin R.F. Nondestructive Testing for Assessing Wood Members in Structures// A Review. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70. Madison, WI, 1994. 40 p.
21. Wei Q., Leblon B., La Rocque A. On the use of X-ray computed tomography for determining wood properties// Can. J. For. Res. 2011. N 41. P. 2120–2140.

Поступила 20.04.15

UDC 630*812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.124

Wood Density Evaluation of Compliance of the Woodworking Industries Production

A.A. Tambi, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

A.N. Chubinskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov,
Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: a_tambi@mail.ru

Prediction of physical and mechanical properties of wood is an essential and actual problem in the production of the structural lumber. In case of inconsistency of density and the structural strength of the structural lumber with the calculation characteristics it cannot be used in the production of load-bearing structures, which reduces the material ratio of wood and increases the cost of the finished products. We have developed a method of estimating the density of wood of the service moisture content at the stage of harvesting, based on an assessment of the basic wood density that allows us to assign the certain qualitative felling indices prior to the logging operations. The investigations were carried out for the groups of pine and spruce model trees harvested in the different parts of Leningrad region. The criterion for assessing the quality of the stands we adopted the wood density at a moisture content of 12 %. As a result we obtained the models describing the connection between the basic wood density of pine and spruce and wood density with a moisture content of 12 % in the merchantable part of a trunk. The introduction of the developed method in the forestry practice is possible through the introduction of the felling indices indicating the qualitative characteristics of growing trees and their conformity to the certain types of products based on the customers desired density of wood. The felling coincidence index in the list of the survivor characteristics allows us to define the roundwood materials according to value. The research is carried out within the framework of the works on the subject of GR 01201463693.

Keywords: basic wood density, density function, physical properties of wood, felling index.

REFERENCES

1. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Nikiforova A.I., Kunitskaya O.A. Obos-novanie metodiki otsenki ekologicheskoy effektivnosti lesopol'zovaniya [Justification of Methodology for Environmental Performance Evaluation of Forest Management]. *Vestnik KrasGAU* [the Bulletin of KrasGAU], 2012, no 6, pp. 72–77.
2. Danilov D.A. *Zakonomernosti strukturnykh izmeneniy v osnovnykh i elovykh drevostoyakh na ob"ektakh kompleksnogo ukhoda za lesom: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Patterns of Structural Change in the Pine and Spruce Stands at the Objects of the Forest Total Care: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Saint Petersburg, 2011. 21 p.
3. Pal'chikov S.B., Baranov A.F. Voprosy neobkhodimosti vedeniya monitoringa sostoyaniya nasazhdeniy s ispol'zovaniem sovremennykh metodov dendrokronologicheskikh issledovaniy [Questions of the Necessity of Monitoring of the State of Plants Using the Modern Methods of Dendrochronological Research]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2014, no. 5, pp. 116–212.

4. Petrov V.N., Chubinskiy A.N., Smirnova A.I., Tambi A.A. Ekonomicheskoe obosnovanie tselesoobraznosti sortirovki pilovochnika po kachestvennym priznakam [Economic Rationale for Log Sorting at the Grade Break]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2011, no. 197, pp. 273–279.
5. Poluboyarinov O.I. *Plotnost' drevesiny* [Wood Density]. Moscow, 1976. 160 p.
6. Ryabchuk V.P., Yuskevich T.V., Grib V.M. Fizicheskie svoystva drevesiny vidov roda sosna [The Physical Properties of Wood of the Pine Species]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 5, pp. 160–169.
7. Sokolov A.P., Syunev V.S. Logisticheskaya kontseptsiya organizatsii lesozagotovitel'nogo proizvodstva [Logistical Concept of the Timber Production Organization]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences], 2014, no. 4, pp. 88–95.
8. Tambi A.A., Teppoev A.V., Shimkevich Yu.A., Gal'sman I.E. Metodika prime-neniya magnitno-rezonansnoy tomografii dlya otsenki vnutrennego stroeniya i vlazhnosti kruglykh lesomaterialov [The method of Application of Magnetic Resonance Imaging for the Evaluation of the Internal Structure and Humidity of Roundwood]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2013, no. 203, pp. 100–107.
9. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood Technology with the Fundamentals of Forest Commodity]. Moscow, 2007. 351 p.
10. Lyungetyud F., Mote F., Bakhshieva M.A., Chubinskiy A.N., Sharpent'e P., Bombard'e V., Tambi A.A. Issledovanie protsessa identifikatsii drevesnykh porod po makroskopicheskim priznakam s ispol'zovaniem komp'yuternoy tomografii [Investigation of the Process of Identification of Tree Species by the Macroscopic Characteristics Using the Computed Tomography]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2013, no. 202, pp. 158–168.
11. Khukhryanskiy P.N. *Prochnost' drevesiny* [The Strength of Wood]. Moscow, 1955. 152 p.
12. Chubinskiy A.N., Tambi A.A., Khitrov E.G., Shimkevich Yu.A., Semishkur S.O. Obosnovanie ob"emnogo vykhoda pilomaterialov dlya kleenykh derevyannykh konstruksiy na osnove fizicheskikh svoystv drevesiny [Justification for the Board Output from the Saws for Glued Wooden Structures on the Basis of Physical Properties of Wood]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2014, no. 206, pp. 146–154.
13. Bhandarkar S.M., Faust T.D., Tang M. Catalog: a System for Defection and Rendering of Internal Log Defects Using Computer Tomography. *Machine Vision and Applications*, 1999, no. 11, pp. 171–190.
14. Bucur V. *Nondestructive Characterization and Imaging of Wood*. Berlin, 2003.
15. Chubinskii A.N., Tambi A.A., Teppoev A.V., Anan'eva N.I., Semishkur S.O., Bakhshieva M.A. Physical Nondestructive Methods for the Testing and Evaluation of the Structure of Wood Based Materials. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2014, no. 50(11), pp. 693–700. doi: 10.1134/S1061830914110023.
16. Colin F., Mothe F., Freyburger C., Leban J.M., Morisset J.B., Fontaine F. Tracking Rameal Traces in Sessile Oak Trunks with X-Ray Computer Tomography: Biological Bases, Preliminary Results and Perspectives. *Trees*, 2010, no. 24(5), pp. 953–967. doi: 10.1007/s00468-010-0466-1.
17. Freyburger C., Longuetaud F., Mothe F., Constant T., Leban J.M. Measuring Wood Density by Means of X-Ray Computer Tomography. *Annals of Science*, 2009, no. 66, pp. 804–813.

18. Liang S., Fu F. Relationship Analysis Between Tomograms and Hardness Maps in Determining Internal Defects in Euphrates Poplar. *Wood Research*, 2012, no. 57(2), pp. 221–230.

19. Rinn F. Technische Grundlagen der Impuls-Tomographie. *Baumzeitung*, 2003, no. 8, pp. 29–31.

20. Ross R.J., Pellerin R.F. *Nondestructive Testing for Assessing Wood Members in Structures: A Review. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70*. Madison, WI, 1994. 40 p.

21. Wei Q., Leblon B., La Rocque A., On the Use of X-ray Computed Tomography for Determining Wood Properties: a Review. *Can. J. For. Res.*, 2011, no. 41, pp. 2120–2140.

Received on April 20, 2015

