



HAL
open science

Study on wood species identification by using computed tomography

Patrick Charpentier, Anatoly Chubinsky, Vincent Bombardier, Fleur Longuetaud, Frédéric Mothe, Alexander Tambi, Maria Bakhshieva

► To cite this version:

Patrick Charpentier, Anatoly Chubinsky, Vincent Bombardier, Fleur Longuetaud, Frédéric Mothe, et al.. Study on wood species identification by using computed tomography. -
(Journal of the Forestry academy - Saint-Petersburg), 2013, 202, pp.158-167. hal-00833428v1

HAL Id: hal-00833428

<https://hal.science/hal-00833428v1>

Submitted on 12 Jun 2013 (v1), last revised 19 Jul 2013 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С. М. КИРОВА»

*210 лет
старейшему лесному вузу*

ИЗВЕСТИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОЙ
АКАДЕМИИ

Выпуск 202

Издаются с 1886 года

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2013

Ministry of education and science of the Russian Federation
Federal State Federal Budgetary Educational Institution
of Higher Professional Education
«SAINT-PETERSBURG STATE FOREST TECHNICAL UNIVERSITY»

*210 years
to the oldest forest higher education institution*

IZVESTIA
SANKT-PETERBURGSKOJ
LESOTEHNICESKOJ
AKADEMII

Issue 202

Published since 1886

SAINT-PETERSBURG
2013

Chief Editor

A.V. Selikhovkin, Doctor of Biological Sciences, Professor.

Chief Deputy Editor

A.S. Alekseev, Doctor of Geographical Sciences, Professor.

Editorial Board

V.A. Aleksandrov, Doctor of Engineering, Professor,

S.M. Bazarov, Doctor of Engineering, Professor,

N. Belgasem, Professor of the Higher School of the Paper and Printing Industry (France),

N. Weber, Head of the Department of Forest Economy and Forest Planning, Professor of the Dresden Technical University (Germany),

H. Degliz, Professor of the International Academy of Sciences about Wood (France),

I.P. Deyneko, Doctor of Chemistry, Professor,

T. Karyalaynen, Professor of the Finnish Scientific Research Institute of Forestry (Finland),

A.N. Minaev, Doctor of Engineering, Professor,

V.I. Onegin, Doctor of Engineering, Professor,

V.A. Petritsky, Doctor of Philosophy, Professor,

V.N. Petrov, Doctor of Economics, Professor,

O. Sallnas, Professor of the Swedish University of Agricultural Sciences (Sweden),

V.G. Sanayev, Doctor of Engineering, Professor, Rector of Moscow State Forest University

V.A. Suslov, Doctor of Engineering, Professor,

L.V. Utkin, Doctor of Engineering, Professor,

A.N. Chubinsky, Doctor of Engineering, Professor.

M. V. Manenko, Candidate of Technical Sciences, technical secretary.

Editor's Office Address: 194021, St. Petersburg, Institutski per., 5. Tel.: (812)670-92-69, fax: (812)670-93-90.
E-mail: lautner@mail.ru. Site: www.ftacademy.ru

The edition is registered by Federal service on supervision of legislation observance in the sphere of mass communications and protection of a cultural heritage of the Russian Federation.
The certificate on registration of mass media of PI No. FS77-23613 of 10.03.2006.

UDC 630

Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehneskoj Akademii: Is. 202. SPb.: SPbGLTU, 2013. – 282 p. – ISBN 978-5-9239-0579-3, ISSN 2079-4304.

The next release of «Izvestia SPbLTA» is dedicated to the anniversary of Saint-Petersburg State Forest Technical University and represents results of the current researches on forestry, logging and mechanization of logging, mechanical and chemical processing of wood. The collection is intended for workers of a forest complex, teachers, graduate students, students and graduates of timber higher education institutions, the staff of scientific research institute of a forest profile.

Templan 2013 г. Isd. no. 228
ISBN 978-5-9239-0579-3
ISSN 2079-4304

© Saint-Petersburg State Forest Technical
University (SPbFTU), 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

В «Известиях Санкт-Петербургской лесотехнической академии» публикуются оригинальные научные и обзорные статьи, отдельные разделы диссертаций, материалы о патентах и внедрении в производство законченных научных работ, статьи о проблемах высшего лесотехнического образования, об истории становления лесного хозяйства, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. «Известия СПбЛТА» издаются с 1886 года, выходят четыре раза в год и являются научным изданием лесотехнического профиля, включенным ВАК РФ в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. С 2005 года «Известия СПбЛТА» включены в систему по созданию российского индекса научного цитирования (РИНЦ) – www.elibrary.ru

Издание предназначено для работников лесного комплекса, преподавателей, научных сотрудников, аспирантов, студентов лесотехнических вузов, НИИ лесного профиля и выпускников университета. Надеемся, что каждый читатель найдет здесь статью по своим интересам.

Все замечания и пожелания будут обязательно рассмотрены и по возможности учтены в последующих изданиях. Просим направлять их по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, редакция «Известий СПбЛТА», или lautner@mail.ru

Редколлегия

Флер Лонгетюд, научный сотрудник
longueta@nancy.inra.fr

Фредерик Моте, научный сотрудник
mothe@nancy.inra.fr

Национальный исследовательский институт агрономии в Нанси

Мария Абидовна Бахшиева, аспирант
bahshi_mari@mail.ru

Анатолий Николаевич Чубинский,
доктор технических наук, профессор
a.n.chubinsky@gmail.com

Александр Алексеевич Тамби,
доцент, доктор технических наук
a_tambi@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный лесотехнической университет

Патрик Шарпентье, профессор
Patrick.Charpentier@cran.uhp-nancy.fr

Винсент Бомбардье, профессор
vincent.bombardier@cran.uhp-nancy.fr

Университет Лорэйн

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИДЕНТИФИКАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД ПО МАКРОСКОПИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Компьютерная томография, сканирование древесины, сортировка бревен.

Computed tomography, wood scanning, log sorting.

Совершенствование технологических процессов первичного раскря сырья в лесопилении и фанерном производстве является актуальной научно-технической задачей, связывающей теорию раскря сырья с бережным использованием лесных ресурсов.

Сегодня на многих предприятиях учет и сортировка круглых лесоматериалов производится визуально по внешним признакам. Визуальная сортировка требует подготовки специалиста и даже при высокой его квалификации может привести к ошибкам. При существующих скоростях обработки и использовании операторов качественная сортировка является практически невозможной, а использование лазерного и других средств сканирования [1, 2] поверхности является неэффективным вследствие малого количества характеристик, выделяемых при такой оценке, и приводит к ошибкам при адресации бревен по карманам линии.

Целью исследования является обоснование возможности идентификации древесины разных пород и сортов с использованием компьютерной томографии (СТ), позволяющей оценить как внешнее, так и внутреннее состояние круглых лесоматериалов [4, 5].

Методика исследования. Исследованию подлежало внутреннее строение древесины пяти пород (ель Норвежская (*Picea abies*), Дугласова пихта (*Pseudotsuga*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), пихта белая (*Abies alba*) и лиственница европейская (*Larix decidua*)), отраженное на снимках, полученных компьютерной томографией. Примеры СТ снимков представлены на рис. 1.

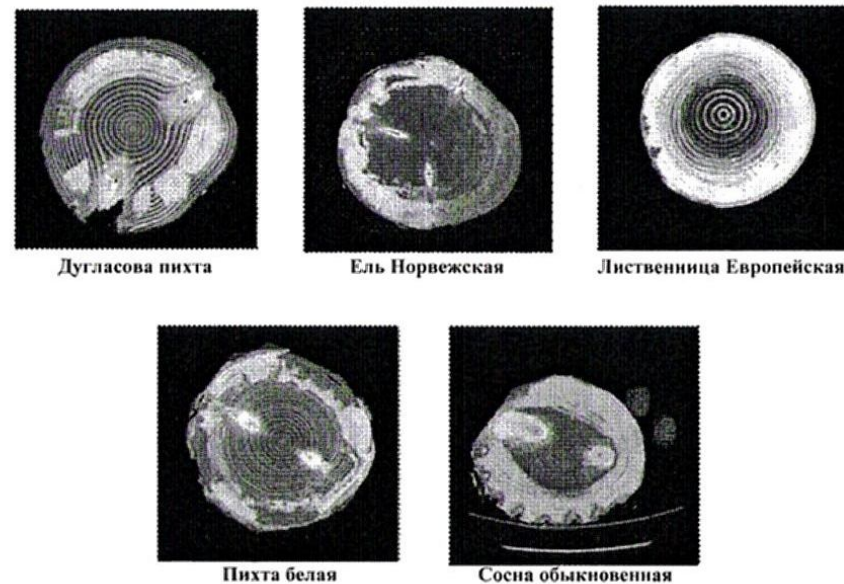


Рис. 1. Примеры СТ снимков для исследуемых пород

В качестве средства сканирования использован медицинский компьютерный томограф BrightSpeed Excel by GE Healthcare. Данная система сканирования позволила получить снимки с разрешением 512×512 пикселей, где каждому снимку соответствует древесина толщиной 0,65–10 мм. Каждому пикселю изображения был присвоен уровень градации серого цвета в соответствии с линейным коэффициентом ослабления материала, который может быть преобразован в значение плотности этого материала.

Обработку результатов, полученных с СТ снимков осуществляли программным продуктом «Gourmands» плагин ImageJ software, позволяющим оценить плотность, геометрические параметры бревен, сучков и другие макроскопические признаки. По результатам измерения были получены 3D графические модели бревен в программе Bil3D, разработанной Frederic Mothe в 1994 году. Примеры 3D моделей бревен для различных пород приведены на рис. 2.

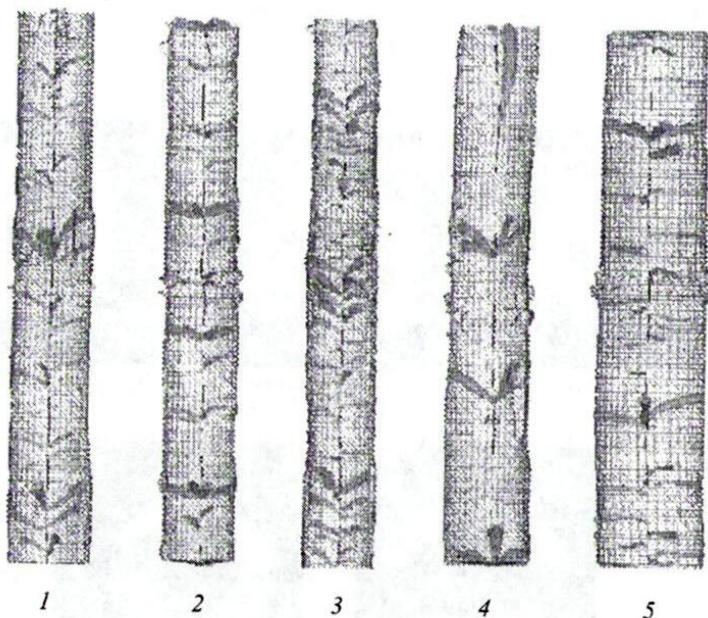


Рис. 2. Примеры 3D моделей в программе Bil3D:
1 – Дугласова пихта; 2 – Пихта белая; 3 – Лиственница Европейская;
4 – Сосна обыкновенная; 5 – Ель Норвежская

На основе измерений составлена база данных переменных величин (таблица). Статистический анализ выполнен с применением компьютерной программы R (<http://www.R-project.org/>, 12.11.2011) [3]. Анализ результатов исследования проведен с использованием математико-статистических методов: box plots, метода главных компонент, дерева решений.

Характеристики древесных пород

Переменная	Значения медиан на box plots				
	Дугласова пихта	Пихта белая	Лиственница европейская	Сосна обыкновенная	Ель Норвежская
1	2	3	4	5	6
Средний уровень тоновой градации серого цвета для древесины	-420	-250	-380	-210	-380
Средний уровень тоновой градации серого цвета для древесины в радиусе 1 см от сердцевины	-490	-190	-420	-400	-540
Среднее значение относительной толщины коры, м	0,031	0,023	0,033	0,016	0,020
Среднее значение диаметров сучков, мм	14	10	8	15	10,5
Среднее значение относительных диаметров сучков	0,12	0,12	0,08	0,15	0,07
Среднее значение относительных длин сучков	0,49	0,48	0,35	0,55	0,44
Среднее значение относительных длин заросших сучков	0,37	0,45	0,32	0,42	0,35
Среднее значение относительного числа заросших сучков	0,13	0,13	0,68	0,66	0,4
Коэффициент вариации длин сучков	0,2	0,12	0,35	0,24	0,2
Стандартное отклонение относительных диаметров сучков	0,09	0,06	0,08	0,10	0,05
Стандартное отклонение относительных длин сучков	0,1	0,06	0,13	0,11	0,09
Среднее количество сучков на метр длины бревна	2,5	3,5	4,8	1,1	3,2
Среднее количество сучков в годовом приросте по высоте ствола дерева	17	9	30	3	20
Среднее количество крупных сучков в мутовке	5,5	4,2	6,8	4	6

Окончание таблицы

Переменная	Значения медиан на box plots				
	Дугласова пихта	Пихта белая	Лиственница европейская	Сосна обыкновенная	Ель Норвежская
1	2	3	4	5	6
Отношение количества крупных сучков в мутовке к количеству всех сучков для полных годовых приростов по высоте ствола дерева	0,31	0,4	0,23	1	0,3
Среднее значение угла наклона сучков для всех полных годовых приростов по высоте ствола дерева, °	11	10	9	33	3
Средний угол наклона сучков вблизи к сердцевине, °	5	3	5	7	7
Стандартное отклонение угла наклона сучков в годовых приростах по высоте ствола дерева	8	5	8	10	7
Стандартное отклонение угла наклона сучков вблизи к сердцевине	8	8	9	9	10
Среднее значение длины годового прироста по высоте ствола дерева, мм	700	300	500	360	600
Средний максимальный диаметр сучка для полных годовых приростов по высоте ствола дерева, мм	45	15	22	35	33
Среднее значение относительного диаметра наименьшего сучка в годовом приросте по высоте ствола для всех полных годовых приростов в бревне	0,03	0,039	0,032	0,05	0,020
Среднее значение относительного диаметра наибольшего сучка в годовом приросте по высоте ствола для всех полных годовых приростов в бревне	0,35	0,21	0,27	0,26	0,2
Среднее значение относительной позиции сучков в пределах годового прироста по высоте ствола для всех полных годовых приростов в бревне, м	0,6	0,68	0,58	0,93	0,63
Стандартное отклонение относительных позиций сучков	0,27	0,24	0,25	0	0,25
Среднее значение изогнутости сучка	1,015	1,02	1,022	1,05	1,015

Результаты исследований и их анализ. В результате построения box plots (рис. 3) определено, что диапазоны варьирования переменных величин для различных пород накладываются друг на друга в большинстве случаев. Однако некоторые переменные все же позволяют выделять породы из группы остальных. Например, средний уровень тоновой градации серого цвета (рис. 3, поз. 1), характеризующий плотность древесины пихты белой находится в пределах $-175...-320$, в то время как для других пород этот параметр несколько ниже. Так, для ели норвежской средний уровень тоновой градации серого цвета лежит в пределах $-470...-600$, что также позволяет выделить эту породу из группы других. Количество сучков в метре длины бревна (рис. 3, поз. 2) и в годовом приросте по высоте ствола (рис. 3, поз. 3) позволяет идентифицировать древесину сосны обыкновенной, поскольку бревна этой породы характеризуются наличием небольшого количества сучков, сконцентрированных преимущественно в областях мутовок. Относительная позиция этих сучков близка к единице (рис. 3, поз. 5). У других пород сучки разнесены вдоль годового прироста по высоте ствола дерева. Средняя относительная позиция сучков у сосны может быть в диапазоне $0,88-0,98$, для других пород – не превышает $0,7$. Сосна обыкновенная характеризуется сучками крупных размеров, поэтому имеет широкий диапазон варьирования среднего относительного диаметра сучков ($0,66-0,24$) и большей величиной их изогнутости ($1,041-1,052$) (рис. 3, поз. 6). Как видно из полученных графиков, угол наклона сучков (рис. 3, поз. 4) сосны принимает большее значение, чем для других пород ($20-34$). Сосна обыкновенная в результате анализа по методу box plots, легко идентифицируема. Дугласова пихта, лиственница европейская и ель норвежская имеют большое число сучков малого диаметра, что позволяет отличить группу данных пород от пихты белой и сосны обыкновенной. Бревна ели норвежской характеризуются малым средним значением угла наклона сучков, который варьирует в пределах $-2...9$. Представленные бревна дугласовой пихты получены из деревьев, которые подвергались рубке ухода и искусственному отсечению ветвей, поэтому имеют большое количество заросших сучков. Дугласова пихта характеризуются большим интервалом варьирования среднего значения относительной длины заросших сучков.

В результате исследования внутренней структуры бревен лиственницы европейской и ели норвежской было обнаружено, что эти породы отличаются наличием большого числа сучков (преимущественно малых). Этот параметр характеризуется значениями «среднего количества сучков на метр бревна» и «среднего количества сучков в годовом приросте древесины по высоте ствола», которые изменяются в диапазонах $0,025-0,084$ и $13-53$ соответственно.

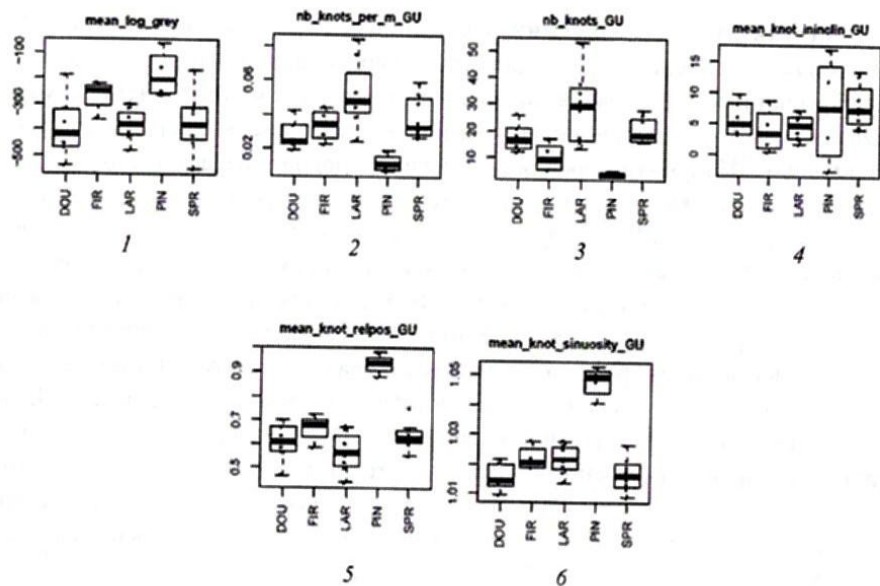


Рис. 3. Примеры обработки экспериментальных данных по методу Box plots:

1 – средний уровень тоновой градации серого цвета для древесины; 2 – среднее количество сучков на метр длины бревна; 3 – среднее количество сучков в годовом приросте по высоте ствола дерева; 4 – среднее значение угла наклона сучков для всех полных годовых приростов по высоте ствола дерева; 5 – среднее значение относительной позиции сучков в пределах годового прироста по высоте ствола; 6 – среднее значение изогнутости сучка

Метод главных компонент позволяет идентифицировать бревна сосны обыкновенной и пихты белой (рис. 4). Графы для остальных трех пород накладываются друг на друга, объединяя их в общую группу.

Дерево решений (рис. 5) позволяет классифицировать бревна по породам с точностью до 100%. В качестве листьев были использованы такие параметры, как «среднее количество сучков в годовом приросте древесины по высоте ствола», «стандартное отклонение относительных длин сучков», «среднее количество сучков в метре длины бревна», «наименьший относительный диаметр сучка в годовом приросте древесины по высоте ствола», «отношение количества сучков в мутовках к общему количеству сучков» и др.

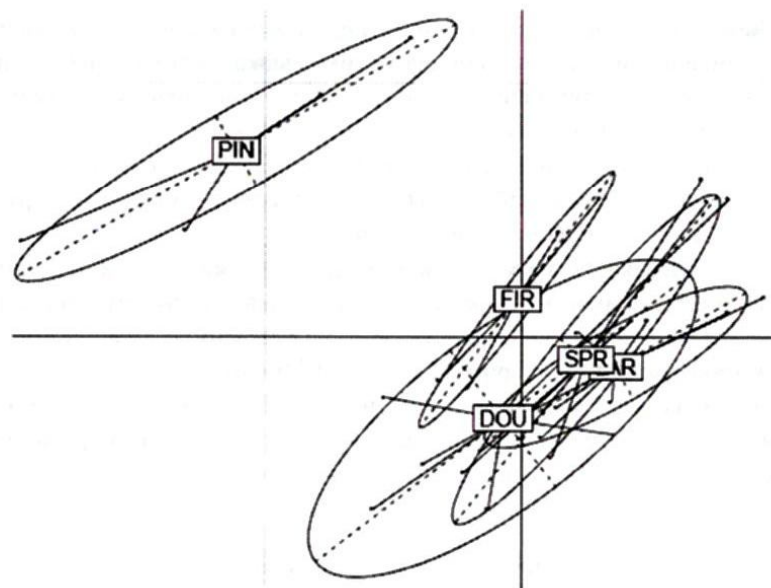


Рис. 4. Примеры обработки экспериментальных данных по методу главных компонент

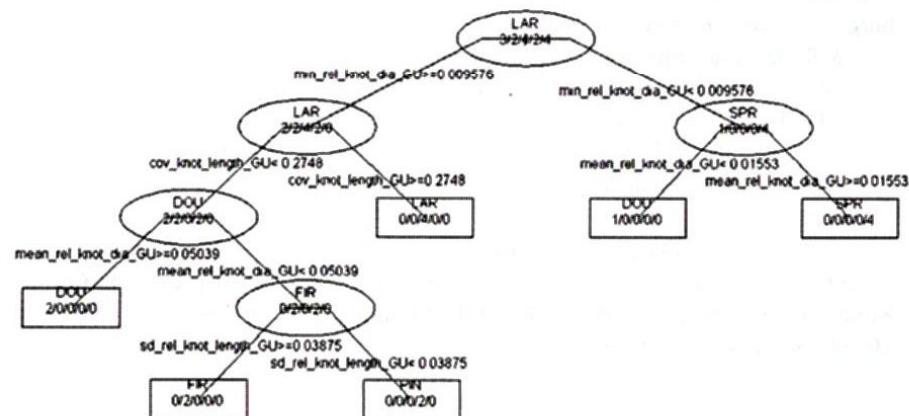


Рис. 5. Примеры обработки экспериментальных данных по методу Дерево решений

Выводы. Бревна пяти различных пород были исследованы с целью их идентификации и оценки строения по ряду макроскопических признаков. Полученные результаты анализировались с помощью различных статистических методов в программе R.

1. Результаты исследования (см. таблицу) доказали возможность использования компьютерной томографии для идентификации и сортировки пород в промышленном производстве.

2. Использование трех методов анализа расширяет границы применимости компьютерной томографии для идентификации древесных пород. Метод box plots визуально представляет соотношение значений различных параметров для разных пород. Метод главных компонент позволяет выделить наиболее значимые характеристики пород, по которым они, в лучшем случае, могут быть классифицированы на три группы. Дерево решений позволяет идентифицировать каждую из пяти пород.

Библиографический список

1. *Лакатош, Б.К.* Дефектоскопия древесины [Текст] / Б.К. Лакатош; под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесн. пром-сть, 1966. – 183 с.
2. *Chubinsky, A.N.* Continuous quality control of glued laminated beam // 2009 IAWS Plenary meeting and conference [Text] / A.N. Chubinsky, A.A. Tambi // Forest as a renewable source of vital values for changing world. 15–21 June 2009 Saint-Petersburg. – Moscow, Russia.-SPb.: SPbGLTA, 2009. – P. 36.
3. R Development Core Team, 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria [Electronic resource]. – URL: <http://www.R-project.org/> (дата обращения: 12.11.2011).
4. Freyburger C., Longuetaud F., Mothe F., Constant T., Leban J.M., 2009. Measuring wood density by means of X-ray computer tomography. *Annals of science* 66: P. 804–813.
5. *Colin, F.* Tracking rameal traces in sessile oak trunks with X-ray computer tomography: biological bases, preliminary results and perspectives [Text] / F. Colin, F. Mothe, C. Freyburger, J.M. Leban, J.B. Morisset, F. Fontaine. *Trees* 2010 DOI 10.1007/s00468-010-0466-1.

Предложена методика идентификации древесных пород с помощью компьютерной томографии, которая позволяет исследовать внутренние характеристики и особенности анатомического строения различных пород. На основе этих харак-

теристик получена база данных переменных величин, которая была обработана с помощью математико-статистических методов, таких как: box plots, метод главных компонент, дерево решений. Анализ показал, что данный алгоритм позволяет идентифицировать породы с высокой точностью.

* * *

In the work a method of wood species identification by using computed tomography was proposed. Computed tomography allow us to explore internal characteristics of wood and specific anatomical features of different species. Data base of variables was obtained, that was analysed by mathematic-statistical methods such as box plots, PCA, Classification tree. The analyze revealed, that the method allow us to identify different species of wood with good accuracy.

<i>Tsareva T.S., Levinsky Yu.B.</i> Increasing the effectiveness of bonding based on preliminary densification of veneer by rolling	148
<i>Fleur Longuetaud, Frederic Mothe, Bakhshieva M.A., Chubinsky A.N., Tambi A.A., Patrick Charpentier, Vincent Bombardier</i> , Study on wood species identification by using computed tomography	158

IV. INFORMATION SYSTEMS, MATHEMATICAL MODELLING AND AUTOMATION SYSTEMS

<i>Burkov E.A., Nasser S.S., Paderno P.I., Lukin I.P.</i> Evaluation of the significance of criteria of professional risk based on separate interviews of experts	168
---	-----

V. CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD. BIO TECHNOLOGY

<i>Deineko I.P.</i> Preparation of cation-exchange sorbents from wood sawdust	178
<i>Fatkhutdinov A.D., Jiliaev G.G., Moyseenko S.K., Ivanov A.V., Tremasov M.Ya., Papunidi K.H. Antonets A.A., Mustafina N.G.</i> To whom the uniform international is necessary in Russia classification of toxicity of the chemical dangerous substances (CDS)	188

VI. ECONOMICS AND MANAGEMENT

<i>Musin H.G., Magdeev N.G., Dobrovolsky A.A., Neshataev V.Yu.</i> Economic efficiency assesment of measures on reproduction and use of forest	203
<i>Mosyagin V.I.</i> Economic analysis methods in market pricing	214
<i>Orlov A.Yu.</i> Economy and management of energetic utilization of wood in Germany	220
INFORMATION ABOUT AUTHORS	230
SYNOPSIS.....	242
APPS	273

ПРИЛОЖЕНИЯ

Редакция научного издания «Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии»

принимает для публикации

1) оригинальные статьи, содержащие результаты научных исследований ранее не публиковавшиеся, по следующим научным направлениям:

- биология;
- экология, охрана и защита окружающей среды;
- лесное хозяйство (лесные культуры, селекция, семеноводство; лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация; агролесомелиорация, защитное лесоразведение и озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними и пр.);
- ландшафтная архитектура;
- технология, машины и оборудование лесозаготовок, лесного и садово-паркового хозяйства;
- древесиноведение;
- технология, машины и оборудование деревообрабатывающих производств;
- химия, химическая технология и биотехнология;
- технология, машины и оборудование химической переработки растительного сырья; химия древесины;
- системный анализ, управление и обработка информации;
- автоматизация и управление технологическими процессами;
- экономика и управление на предприятиях лесного сектора;
- лесная политика, лесное право и экономика природопользования;
- общие и методологические проблемы науки и профессионального образования.

2) сведения об изданных монографиях и учебно-методической литературе;

3) сведения о предстоящих и завершенных конференциях,

4) материалы о достижениях сотрудников подразделений и кафедр СПбГЛТУ и т. п. в раздел «Хроника научной жизни».

«Известия СПбЛТА» издаются с 1886 г., выходят четыре раза в год и являются рецензируемым научным изданием, включенным в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть