

Построение натурной модели круглого лесоматериала и прогнозирование качества его раскроя на ее основе

Н.О. Бегункова

Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

natali-beg@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5069-9604>

Статья поступила 16.04.2020, принята 06.05.2020

В статье рассмотрено применение метода фотограмметрического зондирования для построения текстурированной трехмерной метрической модели круглого лесоматериала. Приводятся фотограмметрическая установка и описание программного комплекса, который на первом этапе позволяет обрабатывать видеоизображение торца круглого лесоматериала. На следующем шаге происходит распознавание линий годовичных слоев в плоскости полученного цифрового аналога данного торца и определение их геометрических размеров. В случае невозможности распознавания части годовичных слоев применяется аппроксимация. Опорными точками для такой аппроксимации выступают уже детерминированные годовичные кольца. В дальнейшем на основе полученных после обработки данных комплекс реконструирует полупрозрачную объемную модель круглого лесоматериала и отображает ее с возможностью рассмотреть под разными углами. На базе реконструированной модели комплекс позволяет смоделировать раскрой круглого лесоматериала плоскостями резания. При этом необходимо задать расстояние от оси круглого лесоматериала до данной плоскости и угол ее наклона. Результатом такого имитационного моделирования раскроя является срез с отображаемой на нем текстурой годовичных слоев. В качестве вариантов отображения можно выбрать 3D- и 2D-проекцию такого среза. Есть возможность рассматривать проекции под разными углами и масштабировать. Предложенная трехмерная модель круглого лесоматериала позволяет повысить эффективность его продольного раскроя за счет предварительной визуализации годовичных слоев каждого отдельного круглого лесоматериала и может способствовать увеличению объемного выхода различных материалов с заранее прогнозируемыми декоративными и прочностными свойствами, таких как строганый шпон, пиломатериалы и др.

Ключевые слова: круглый лесоматериал; модель; годовичный слой; текстура древесины; прогнозирование.

Constructing a natural model of round timber and predicting the quality of its cutting based on it

N.O. Begunkova

Pacific National University; 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russia

natali-beg@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5069-9604>

Received 16.04.2020, accepted 06.05.2020

The article describes the application of the method of photogrammetric sounding to constructing a textured three-dimensional metric model of round timber. A photogrammetric installation and description of the software package, which at the first stage allows you to process the video image of the end of the round timber, is given. The next step is the recognition of the lines of the annual rings at the plane of the obtained digital analog of this end and the determination of their geometric dimensions. If it is impossible to recognize the part of the annual rings, an approximation is applied. The reference points for such an approximation are already determined annual rings. Subsequently, on the basis of the data obtained after processing, the complex reconstructs a translucent volumetric model of round timber, displays it and allows the user to view it from different angles. Based on the reconstructed model, the complex provides an opportunity to simulate the cutting of round timber with cutting planes. In this case, it is necessary to set the distance from the axis of the round timber to the given plane and the angle of its inclination. The result of such simulation modeling of cutting is a slice with the texture of annual rings displayed on it. As display options, you can select a 3D projection and a 2D projection of such a slice. It is possible to view projections from different angles and scale. The proposed three-dimensional model of round timber will increase the efficiency of its longitudinal cutting due to preliminary visualization of the annual rings of each individual round timber and can increase the volumetric yield of various materials, such as veneer, lumber and others, with previously predicted decorative and strength properties.

Keywords: round timber; model; annual ring; wood texture; prediction.

Введение. Строганный шпон является ценным облицовочным материалом, позволяющим при производстве мебели и различных столярно-строительных изделий заменить использование ценной массивной древе-

сины на строганный шпон, тем самым делая высококачественные изделия более доступными для широких слоев населения.

В соответствии с действующим ГОСТ 2977-82 вы-

пускаемый строганный шпон может быть радиальным, полурадикальным и тангентальным [1]. Выход шпона определенного вида определяется при классической технологии по фактическим результатам работы. Учитывая, что вид шпона во многом влияет на его стоимость, целесообразно разработать методы, позволяющие прогнозировать выход шпона с той или иной текстурой.

Сегодня сканирующие устройства линий раскроя круглых лесоматериалов позволяют получать визуальные трехмерные модели формы поверхности круглого лесоматериала. Но данные модели не отражают текстуру древесины, которая в дальнейшем может способствовать определению рационального способа раскроя.

К технологиям, позволяющим отражать внутреннюю структуру круглых лесоматериалов, можно отнести томографию [2–9] и методы телеметрии [10]. Однако томография [11–13] в данном случае является технологией, которая пока отличается недостаточной динамичностью.

Одним из способов построения текстурированной трехмерной метрической модели может быть использование методов телеметрии, например, метода фотограмметрического зондирования [14–17].

1. Детектирование годовичных слоев на поверхности комлевого торца круглого лесоматериала. Для построения объемной геометрической модели круглого лесоматериала был разработан комплекс программных модулей [18–20], включающий математические модели по обработке видеозображения и фотограмметрическую установку, общий вид которой изображен на рис. 1.

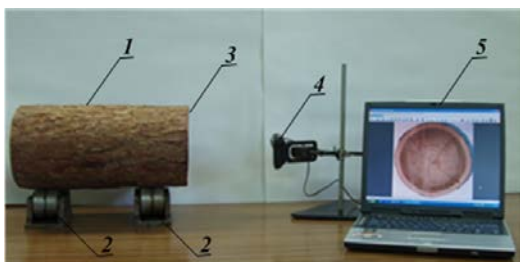


Рис. 1. Фотограмметрическая установка видеосъемки торца круглого лесоматериала: 1 — круглый лесоматериал; 2 — роликовые вращающиеся опоры; 3 — торец; 4 — видеокамера; 5 — компьютер

На данном этапе осуществляются видеосъемка комлевого торца круглого лесоматериала, получение изображений и преобразование их в цифровой эквивалент. Затем полученные с помощью видеокамеры изображения торца обрабатываются на компьютере и тем самым определяются линии годовичных слоев в плоскости торца круглого лесоматериала.

В целом разработанный комплекс программных модулей объединяет в себе три различных процесса: детектирование годовичных колец торцевых срезов круглых лесоматериалов и определение действительных геометрических размеров данных колец; аппроксимация полученных данных; визуализация итоговых результатов.

Графический интерфейс комплекса представлен на рис. 2 и состоит из следующих элементов:

1) Группа *Image Processing*, позволяющая осуществлять следующие действия:

а) выбор целевого изображения и его загрузки в массив программы с помощью кнопки *Open Image*;

б) открытие модуля редактирования загруженного изображения — кнопка *Edit*, которая становится активной после загрузки изображения;

в) запуск процесса детектирования колец — кнопка *Processing*, которая также становится активной после загрузки изображения. Предварительно должны быть выставлены параметры в группе *Parameters of Ring Search* и *Camera Properties* (описание приведено ниже);

г) с помощью кнопки *Clear all* полностью удалить все ранее внесенные или определенные данные и вернуть графический интерфейс к исходному состоянию.

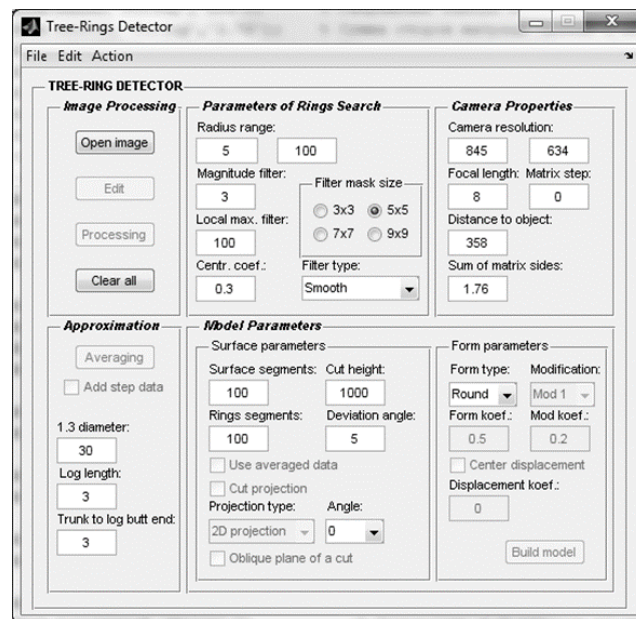


Рис. 2. Графический интерфейс комплекса детектирования и визуализации данных

2) Группа *Parameters of Ring Search*, предназначенная для задания следующих параметров:

а) диапазона радиусов искомых концентрических окружностей — текстовые поля ввода *Radius range*;

б) фильтра магнитуды градиентного поля изображения — текстовое поле ввода *Magnitude filter* (рекомендованное значение находится в диапазоне от 3 до 8). Данный фильтр применяется для сглаживания градиентного поля с целью более точного построения аккумуляторной матрицы, что впоследствии позволит более точно определить центр (центры) концентрических окружностей;

в) радиусный фильтр для поиска локального максимума в массиве аккумулятора — текстовое поле *Local max. filter* (рекомендованное значение находится в диапазоне от 20 до 160). Применяется для сглаживания аккумуляторной матрицы с целью устранить неопределенные всплески, которые могут стать ложными центрами при определении локальных максимумов и принадлежащих им окружностей;

г) коэффициент централизации радиусов *Cantr. coef* (нормированное значение от 0,3 до 1), который необходим для исключения лишних или ложных локальных центров, чтобы сформировать единый центр и определять окружности, принадлежащие именно этому центру. Чем выше значение коэффициента, тем меньше

локальных максимумов будет обнаружено. Возможен и обратный подход, когда необходимо определить несколько локальных максимумов, в этом случае коэффициент необходимо подбирать как можно ниже (но не ниже 0,3 по умолчанию);

д) подгруппа *Filter mask size* позволяет с помощью переключателей задать размер маски фильтра для предобработки изображения;

е) с помощью раскрывающегося списка *Filter type* происходит выбор типа применяемого фильтра для предобработки изображения, или фильтр можно не применять вовсе;

3) Группа *Camera Properties* позволяет задать следующие параметры, которые обычно даны в документации к камере:

а) разрешение камеры, с помощью которой было получено изображение (или разрешение самого изображения, если параметры камеры неизвестны) — текстовые поля ввода *Camera resolution*;

б) фокусное расстояние камеры — текстовое поле *Focal length*;

в) шаг матрицы камеры — текстовое поле *Matrix step*;

г) расстояние до объекта при съемке — *Distance to object*;

д) суммарное значение ширины и длины матрицы камеры — *Sum of matrix sides*.

4) Группа *Approximation* предназначена для внесения следующих данных:

а) с помощью кнопки *Averaging* — недостающих данных в массиве на основе математической зависимости. При этом происходит расчет и отображение зависимости максимального радиуса от каждого, определенного программой;

б) включение опции *Add step data* — добавить в массив определенных колец промежуточные данные на основе математической зависимости (при отключении данной опции массив сохранит исходные данные, полученные в результате детектирования);

в) диаметра бревна на высоте 1,3 м от комля — текстовое поле *1.3 diameter*;

г) длины бревна, срез которого анализируется — текстовое поле *Log length*;

д) расстояния от комля бревна до среза, который анализируется — текстовое поле *Trunk to log butt end*.

5) Группа *Model Parameters* представлена двумя подгруппами:

а) подгруппа *Surface parameters* позволяет задать следующие параметры:

– число сегментов поверхности реконструируемого бревна — текстовое поле *Surface segments*. Каждый сегмент представляет собой кольцо или поверхность заданной формы, которая, в свою очередь, также состоит из сегментов. Вся длина бревна разбивается на поверхности равной длины. Чем больше сегментов, тем более плавно происходит изменение поверхности, но при этом время построения возрастает;

– число сегментов колец или поверхностей заданной формы реконструируемого бревна — текстовое поле *Rings segments* (чем больше сегментов, тем четче прорисован каждый сегмент поверхности, но при этом время построения возрастает);

– высоту среза — текстовое поле *Cut height* (отсчет ведется от определенного центра бревна, отрицательные значения не допускаются);

– угол отклонения плоскости среза — текстовое поле *Deviation angle* (определяется относительно верхней части бревна, измеряется в градусах);

– включенная опция *Use averaged data* позволяет при визуализации использовать данные после аппроксимации (при выключенной опции — данные, полученные только в результате детектирования);

– включенная опция *Cut projection* дает возможность сформировать проекцию среза, которая будет успешно построена, если высота среза не превышает радиус максимального по размеру кольца (при выключенной опции отображается только простая 3D-модель всего бревна);

– раскрывающийся список *Projection type* позволяет при включенной опции *Cut projection* выбирать тип проекции: 2D или 3D;

– раскрывающийся список *Angle* предоставляет возможность выбора угла поворота модели;

– включенная опция *Oblique plane of a cut* позволяет построить плоскость среза под углом, заданным параметром *Deviation angle* (при выключенной опции плоскость среза будет построена вертикально);

б) Подгруппа *Form parameters* предназначена для задания следующих параметров:

– раскрывающийся список *Form type* предоставляет выбор формы годовых колец (круглые, яйцевидные, бочкообразные). У каждой формы предусмотрено множество разновидностей, которые можно задать с помощью раскрывающегося списка *Modification*, параметров *Form koef* и *Mod koef*;

– включенная опция *Center displacement* предполагает построение колец со смещенным центром, что позволит увеличить плотность расположения колец, с одной стороны, и уменьшить, с другой (смещение задается параметром *Displacement koef*). При выключенной опции все кольца имеют единые координаты центра;

– регулирование расстояния смещения центра колец с помощью параметра *Displacement koef*.

б) Кнопка *Build model*, расположенная в нижнем правом углу модуля запускает процесс построения модели в соответствии с заданными пользователем параметрами.

Таким образом, после внесения пользователем изображения оно будет отображено в отдельном окне, где можно подробно оценить его свойства. На основе выводов (или предположений) первичного осмотра вводятся требуемые параметры детектирования (диапазон радиусов, фильтр магнитуды, фильтр локального максимума, коэффициент централизации, размер маски фильтра и тип фильтра), а также параметры камеры из технической документации.

Если изображение требует дополнительной коррекции, то допускается переход к модулю редактирования.

После процесса обработки в отдельных окнах будут выведены промежуточные изображения, которые позволят оценить ход выполнения процесса детектирования, и итоговое изображение торцевого среза с определенными кольцами на поверхности. На рис. 3 показан результат обработки изображения комлевого торца круглого лесоматериала.

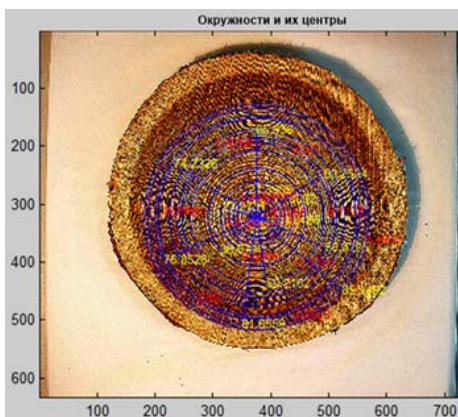


Рис. 3. Визуализация результатов обработки изображения комлевого торца круглого лесоматериала с линиями детектирования годовичных слоев

Детектированные кольца на изображении (рис. 3) дополнены лучами, исходящими из центра к границе каждого кольца; радиусами данных колец; расстояниями между радиусами. При этом геометрические размеры радиусов и расстояний между радиусами вычисляются, исходя из параметров камеры.

Поскольку процесс детектирования не идеален, то часть колец в тех или иных условиях невозможно определить. Поэтому в программной модели применяется аппроксимация. На основе математической зависимости толщины колец от относительного радиуса можно определить, где отсутствует необходимое кольцо. В этом случае ранее определенные годовичные кольца выступают как опорные точки, среднее расстояние между которыми и определяет, требуется ли кольцо на том или ином радиусе. Анализируется расстояние между соседними кольцами, и если, в соответствии с зависимостью, это расстояние больше ожидаемого, то в промежутке добавляется кольцо.

График детектированных значений и аппроксимирующая кривая изменения расстояний между годовичными слоями по относительному текущему радиусу круглого лесоматериала представлен на рис. 4. По результатам статистической обработки установлено, что коэффициент аппроксимации равен 0,981.

2. Моделирование поверхности годовичных слоев.

Моделирование поверхности годовичных слоев в объеме круглого лесоматериала осуществляется посредством перемещения аллометрической кривой, описывающей образующую поверхности круглого лесоматериала, по предварительно смоделированным линиям годовичных слоев.

Анализируя полученные на предыдущем этапе результаты, пользователь может определить, какую именно форму имеют годовичные кольца лесоматериала. Поскольку данные кольца не всегда имеют идеальную форму, то у пользователя есть возможность выбора формы. Кроме того, разработанный программный комплекс позволяет редактировать плотность расположения колец, которые, например, могут оказаться расположенными плотнее с одной стороны и реже — с другой. Такие особенности должны быть оценены и внесены в модель пользователем.

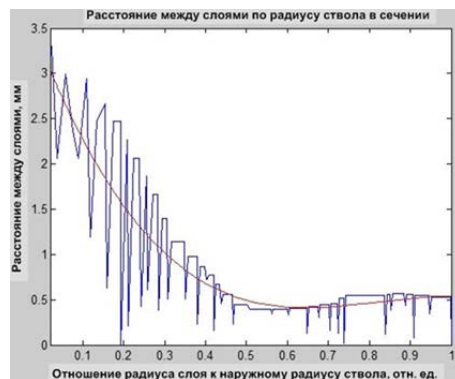


Рис. 4. График опорных точек детектированных значений и аппроксимирующая кривая изменения расстояний между годовичными слоями по относительному текущему радиусу круглого лесоматериала

При построении любой модели предварительно указывается число сегментов колец и число сегментов поверхности. Чем больше число сегментов, тем лучше качество 3D-модели, но при этом время, требуемое на его построение, увеличивается.

В любом случае, результатом запуска модуля построения модели годовичных слоев в объеме круглого лесоматериала является отображаемая на экране монитора полупрозрачная объемная реконструированная модель круглого лесоматериала (рис. 5).

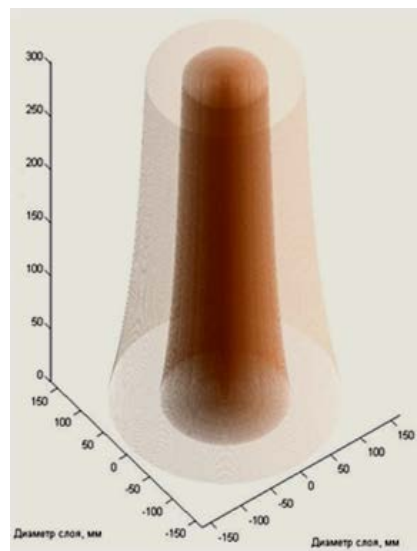


Рис. 5. 3D-модель круглого лесоматериала

3. Имитационное моделирование раскроя круглого лесоматериала.

Имитационное моделирование раскроя круглого лесоматериала выполняется плоскостями, обозначающими плоскости резания, пересекающие реконструированные поверхности годовичных слоев под заданным углом.

Для моделирования раскроя круглого лесоматериала плоскостями резания в разработанном программном комплексе пользователем должны быть выставлены расстояние от оси бревна до плоскости среза и угол ее наклона. Полученная модель плоскости резания может отображаться как в объемном варианте (3D-проекция), так и в плоском — 2D-проекция (рис. 6).

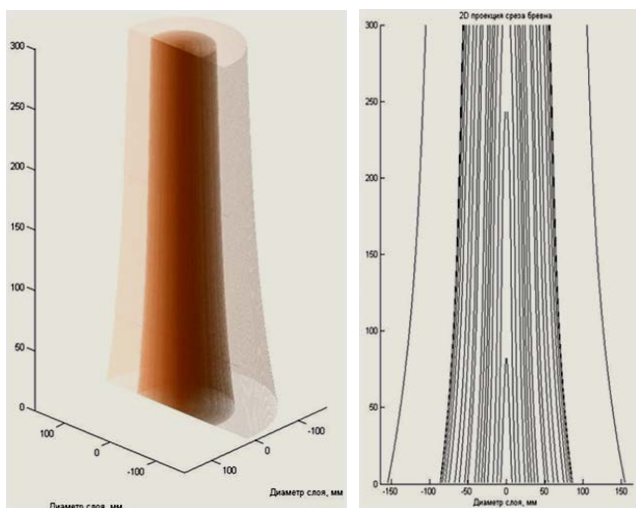


Рис. 6. Плоскости резания круглого лесоматериала в 3D- и 2D-проекциях

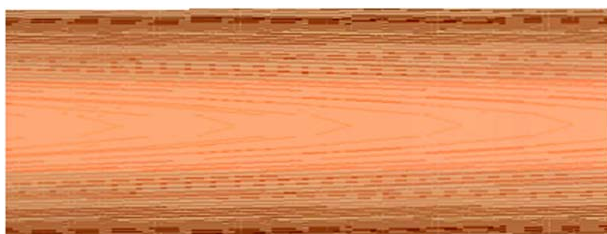


Рис. 7. Визуализация результатов моделирования раскроя плоскостью резания параллельной оси круглого лесоматериала

На рисунках проиллюстрированы результат моде-

лирования раскроя круглого лесоматериала секущей плоскостью, имитирующей плоскость резания, расположенную параллельно оси круглого лесоматериала (рис. 7), и плоскостью, имитирующей плоскость резания, параллельную образующей круглого лесоматериала (рис. 8).

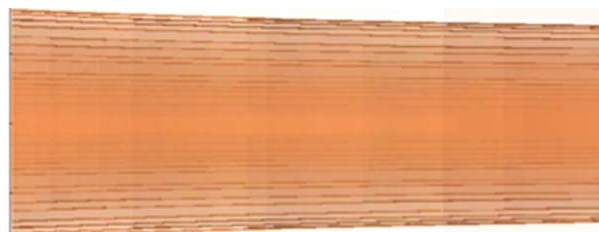


Рис. 8. Визуализация результатов моделирования раскроя плоскостью резания параллельной образующей круглого лесоматериала

Заключение. Предлагаемая трехмерная модель круглого лесоматериала, построенная на одновременном осуществлении процессов обработки видеозображения годичных колец на торце круглого лесоматериала и воссоздания реконструированной картины его внутреннего макростроения, позволяет повысить эффективность продольного раскроя круглых лесоматериалов за счет предварительной визуализации годичных слоев в объеме каждого отдельного круглого лесоматериала и может способствовать увеличению объемного выхода различных материалов, таких как строганный шпон, пиломатериалы и другие, с заранее прогнозируемыми декоративными и прочностными свойствами.

Литература

- ГОСТ 2977-82. Шпон строганный. Введ. 1983-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2008. 9 с.
- Льонгетюд Ф., Моте Ф., Бахшиева М.А., Чубинский А.Н., Тамби А.А., Шарпентье П., Бомбардые В. Исследование процесса идентификации древесных пород по макроскопическим признакам с использованием компьютерной томографии // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2013. Вып. 202. С. 158–167.
- Gergel T., Bucha T., Gejdos M., Vyhnalikova Z. Computed tomography log scanning high technology for forestry and forest based industry // Central European Forestry Journal. 2019. Vol. 65, № 1. P. 51–59.
- Rais A., Ursella E., Vicario E., Giudiceandrea F. The use of the first industrial X-ray CT scanner increases the lumber recovery value: case study on visually strength-graded Douglas-fir timber [Elektronnyj resurs] // Annals of Forest Science. 2017. Vol. 74, № 2. P. 1–9. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs13595-017-0630-5.pdf> (data obrashcheniya: 15.03.2020).
- 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. Vol. 50, № 11. P. 693–700.
- Schimleck L., Dahlen J., Apiolaza L.A., Downes G., Emms G., Evans R., Moore J., Paques L., Van den Bulcke J., Wang X. Non-destructive evaluation techniques and what they tell us about wood property variation [Elektronnyj resurs] // Forests. 2019. Vol. 10, № 9. P. 1–50. URL: <https://www.mdpi.com/1999-4907/10/9/728> (data obrashcheniya: 15.03.2020).
- Gazoa R., Vanek J., Abdul Massih M., Benes B. A fast pith detec-

- tion for computed tomography scanned hardwood logs // Computers and Electronics in Agriculture. 2020. Vol. 170. P. 1–7. URL: <http://hpcg.purdue.edu/bbenes/papers/Gazo20CEA.pdf> (data obrashcheniya: 15.03.2020).
- Wei Q., Leblon B., La Rocque A. On the use of X-ray computed tomography for determining wood properties: a review // Canadian Journal of Forest Research. 2011. Vol. 41, № 11. P. 2120–2140.
- Бегункова Н.О., Исаев С.П., Бегунков О.И. Влияние морфометрических характеристик круглого сортимента и условий его раскроя на выход строганого шпона // Системы Методы Технологии. 2016. № 2 (30). С. 145–143.
- Boero F., Fedeli A., Lanini M., Maffongelli M., Monleone R., Pastorino M., Pastorino A., Salvade A., Sansalone A. Microwave Tomography for the Inspection of Wood Materials: Imaging System and Experimental Results // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2018. Vol. 6, № 7. P. 3497–3510.
- Чубинский А.Н., Тамби А.А., Варанкина Г.С., Федяев А.А., Чубинский М.А., Швец В.Л., Чаузов К.В. Физические методы испытаний древесины. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 125 с.
- Чубинский А.Н., Тамби А.А., Федяев А.А., Федяева Н.Ю., Кульков А.М. Направления использования физических методов контроля структуры и свойств древесины // Системы Методы Технологии. 2015. № 2 (26). С. 152–158.
- Чубинский А.Н., Тамби А.А., Теппоев А.В., Ананьева Н.И., Семишкур С.О., Бахшиева М.А. Физические неразрушающие методы испытания и оценка структуры древесных материалов // Дефектоскопия. 2014. № 11. С. 76–84.
- Riggio M., Sandak J., Franke S. Application of imaging techniques for detection of defects, damage and decay in timber structures on-site // Construction and Building Mate-

- rials. 2015. Vol. 101, № 2. P. 1241–1252.
15. Исаев С.П. Создание цифрового двойника объекта технологических воздействий в деревообработке // Цифровые технологии в лесном секторе: мат. Всерос. науч.-технической конф. СПб.: Политех-Пресс, 2020. С. 61–64.
 16. Патент № 2487352 Российская Федерация, МПК G01N 33/46 (2006.1), B27B 1/00 (2006.1). Способ моделирования реконструктивного отображения годичных слоев в объеме и на разрезах круглого лесоматериала: № 20111492 78/15; заявл. 02.12.2011; опубликовано 10.07.2013 / Бегунков О. И., Исаев С. П., Бегункова Н. О., Раупов В. Р.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Тихоокеанский гос. ун-т». 8 с.: ил.
 17. Бегункова Н.О., Исаев С.П., Бегунков О.И. Информационное обеспечение прогнозирования качества строганого шпона. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. 151 с.
 18. Раупов В.Р., Бегункова Н.О., Исаев С.П., Бегунков О.И. Программный модуль детектирования годичных колец на торцах круглых лесоматериалов: программа для ЭВМ. Св. ГР. № 2012616767; зарег. в реестре программ 27.07.2012.
 19. Раупов В.Р., Бегункова Н.О., Бегунков О.И. Программный модуль начальной обработки статических изображений, имеющих текстурные круговые линии на поверхности: программа для ЭВМ. Св. ГР. № № 2012616766; зарег. в реестре программ 27.07.2012.
 20. Раупов В.Р., Бегункова Н.О., Исаев С.П., Бегунков О.И. Программный модуль реконструктивной визуализации слоев в трехмерных моделях частей ствола дерева: программа для ЭВМ. Св. ГР. № 2012616771; зарег. в реестре программ 27.07.2012.
- References*
1. GOST 2977-82. The sliced veneer. Vved. 1983-01-01. М.: Izd-vo standartov, 2008. 9 p.
 2. Lyungetyud F., Mote F., Bahshieva M.A., CHubinskij A.N., Tambi A.A., SHarpent'e P., Bombard'e V. Investigation of the process of identification of tree species on the macroscopic features using computed tomography // Izvestia SPbLTA. 2013. Вып. 202. P. 158–167.
 3. Gergel T., Bucha T., Gejdos M., Vyhnalikova Z. Computed tomography log scanning high technology for forestry and forest based industry // Central European Forestry Journal. 2019. Vol. 65, № 1. P. 51–59.
 4. Rais A., Ursella E., Vicario E., Giudiceandrea F. The use of the first industrial X-ray CT scanner increases the lumber recovery value: case study on visually strength-graded Douglas-fir timber [Elektronnyj resurs] // Annals of Forest Science. 2017. Vol. 74, № 2. P. 1–9. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs13595-017-0630-5.pdf> (data obrashcheniya: 15.03.2020).
 5. 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. Vol. 50, № 11. P. 693–700.
 6. Schimleck L., Dahlen J., Apiolaza L.A., Downes G., Emms G., Evans R., Moore J., Paques L., Van den Bulcke J., Wang X. Non-destructive evaluation techniques and what they tell us about wood property variation [Elektronnyj resurs] // Forests. 2019. Vol. 10, № 9. P. 1–50. URL: <https://www.mdpi.com/1999-4907/10/9/728> (data obrashcheniya: 15.03.2020).
 7. Gao R., Vanek J., Abdul Massih M., Benes B. A fast pith detection for computed tomography scanned hardwood logs // Computers and Electronics in Agriculture. 2020. Vol. 170. P. 1–7. URL: <http://hpcg.purdue.edu/bbenes/papers/Gazo20CEA.pdf> (data obrashcheniya: 15.03.2020).
 8. Wei Q., Leblon B., La Rocque A. On the use of X-ray computed tomography for determining wood properties: a review // Canadian Journal of Forest Research. 2011. Vol. 41, № 11. P. 2120–2140.
 9. Begunkova N.O., Isaev S.P., Begunkov O.I. The influence of morphometric characteristics of the round wood assortment and its cutting conditions on the sliced veneer yield // Systems. Methods. Technologies. 2016. № 2 (30). P. 145–143.
 10. Boero F., Fedeli A., Lanini M., Maffongelli M., Monleone R., Pastorino M., Pastorino A., Salvade A., Sansalone A. Microwave Tomography for the Inspection of Wood Materials: Imaging System and Experimental Results // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2018. Vol. 6, № 7. P. 3497–3510.
 11. CHubinskij A.N., Tambi A.A., Varankina G.S., Fedyaev A.A., CHubinskij M.A., SHvec V.L., CHauzov K.V. Physical methods for testing wood. SPb.: SPbGLTU, 2015. 125 p.
 12. CHubinskij A.N., Tambi A.A., Fedyaev A.A., Fedyaeva N.YU., Kul'kov A.M. Directions of using physical methods for controlling the structure and properties of wood // Systems. Methods. Technologies. 2015. № 2 (26). P. 152–158.
 13. CHubinskij A.N., Tambi A.A., Teppoev A.V., Anan'eva N.I., Semishkur S.O., Bahshieva M.A. Physical non-destructive testing methods and evaluation of the structure of wood materials // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2014. № 11. P. 76–84.
 14. Riggio M., Sandak J., Franke S. Application of imaging techniques for detection of defects, damage and decay in timber structures on-site // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 101, № 2. P. 1241–1252.
 15. Isaev S.P. Creation of a digital double of the object of technological impacts at woodworking // Cifrovye tekhnologii v lesnom sektore: mat. Vseros. nauch.-tehnicheskoy konf. SPb.: Politekh-Press, 2020. P. 61–64.
 16. Патент № 2487352 Rossijskaya Federaciya, MPK G01N 33/46 (2006.1), B27B 1/00 (2006.1). Method of modelling of reconstructive displaying of annual rings in volume and on sections of round timber: № 2011149278/15; yayavl. 02.12.2011; opublikovano 10.07.2013 / Begunkov O. I., Isaev S. P., Begunkova N. O., Raupov V. R.; yayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «Tihookeanskij gos. un-t». 8 p.: il.
 17. Begunkova N.O., Isaev S.P., Begunkov O.I. Information support for predicting the quality of sliced veneer. Habarovsk: Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2014. 151 p.
 18. Raupov V.R., Begunkova N.O., Isaev S.P., Begunkov O.I. Software module for the detection of tree rings at the ends of round timber: programma dlya EVM. Sv. GR. № 2012616767; zareg. v reestre programm 27.07.2012.
 19. Raupov V.R., Begunkova N.O., Begunkov O.I. Software module for initial processing of static images having texture circular lines on the surface: programma dlya EVM. Sv. GR. № 2012616766; zareg. v reestre programm 27.07.2012.
 20. Raupov V.R., Begunkova N.O., Isaev S.P., Begunkov O.I. Software module for reconstructive visualization of layers in three-dimensional models of parts of a tree trunk: programma dlya EVM. Sv. GR. № 2012616771; zareg. v reestre programm 27.07.2012.