

УДК 620.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.158

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

*В.Ю. Чернов, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [X-4439-2019](#),
ORCID: [0000-0001-9496-7340](#)*

О.В. Цой, магистрант; ORCID: [0000-0001-8028-2201](#)

Н.А. Магальяс, магистрант; ORCID: [0000-0002-4940-8918](#)

М.С. Чернова, аспирант; ResearcherID: [X-4073-2019](#), ORCID: [0000-0002-0192-5158](#)

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия, 424000; e-mail: Chernov.vas7936@yandex.ru, lelik-ha4@mail.ru, masha0906@mail.ru

Начиная с 70-х гг. XX в. разработано множество методик и устройств для дендрохронологического исследования древесины, которые в основном базируются на технических решениях, предложенных Б. Эклундом. Применяемые в настоящее время методы основываются на измерении контуров годичных колец на поперечных срезах древесины с помощью оптических увеличительных приборов. Современные приборы, несмотря на высокий технический уровень и дороговизну, имеют существенные недостатки, связанные с точностью измерений, автономностью работы и длительностью анализа результатов. Целью исследования является устранение указанных недостатков путем синтеза технических решений и разработки нового устройства. Поскольку силовые параметры механического резания находятся в тесной связи со свойствами и строением древесины, в основу нового прибора положен принцип измерения усилий простого поступательного резания древесины в торец и определения ширины годичных колец. В результате проведенной работы снижена ориентировочно до 250 тыс. р. стоимость прибора, повышена его надежность за счет упрощения конструкции и применения простых измерительных компонентов, автономности и мобильности дендрохронологических исследований. Разработанное устройство, отличающееся высокой точностью ($\pm 1\%$) и дискретностью измерений (0,260...0,012 мм), может найти применение в дендрохронологическом анализе при исследовании макроскопического строения древесины и силовых параметров процесса ее резания.

Для цитирования: Чернов В.Ю., Цой О.В., Магальяс Н.А., Чернова М.С. Устройство для дендрохронологического исследования древесины // Лесн. журн. 2019. № 5. С. 158–166. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.158

Ключевые слова: дендрохронологические исследования древесины, макроскопическое строение, простое поступательное резание древесины, силовые параметры процесса резания древесины, точность и дискретность измерений.

Введение

С середины прошлого века методика и техника дендрохронологических исследований постоянно совершенствовались и модернизировались. В 1950 г. Б. Эклундом (Норвегия) создан полуавтоматический прибор для измерения ширины годичных колец [5]. В 70-х гг. прошлого века в г. Цюрихе исследователями разработан дендрохронологический комплект, состоящий из бура, приспособления, обеспечивающего точное его наведение на сердцевину дерева, устройства для обработки керна и денситометра на основе светового эффекта. Комплект состоял из стереоскопического микроскопа, электрического импульсопередаточного механизма и суммирующего устройства, фиксирую-

шего ширину измеренных годовичных колец и их суммарную ширину. Конструкция нашла широкое применение. Чешский исследователь Б. Винш модернизировал данный прибор, разработав приставку с автоматическим самописцем ширины годовичных колец и установку для переноса данных на ЭВМ.

Несмотря на то, что прошло достаточно много времени с момента создания первого полуавтоматического прибора, технические решения Б. Эклунда применяются в современном дендрохронологическом приборе LINTAB™ («Линтаб»), выпускаемом компанией RINNTTECH (г. Гейдельберг, Германия). Данный прибор (рис. 1) работает совместно с программой для дендрохронологического анализа TSAP-Win™ («ТСАП-Вин») [12].

Прибор состоит из линейной направляющей, оборудованной электронным устройством фиксации перемещения измерительного стола с исследуемым образцом; стереомикроскопа МБС-10, Leica MS5, Leica S4E [14, 15]. Измерение годовичных колец происходит вручную путем перемещения стола с исследуемым образцом с помощью рукоятки и соотнесения торцевых контуров годовичных колец и визирных линий окуляра. Запись ширины годовичного кольца осуществляется нажатием клавиши на ЭВМ. Прибор имеет предел допускаемой абсолютной погрешности измерения 0,03 мм (при минимально допустимом для дендрохронологического исследования 0,05 мм [6]). В 2009 г. этот прибор зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений.

Позднее компания RINNTTECH разработала многофункциональное устройство LIGNOSTATION™ («Лигностейшн») с программным обеспечением LINGOVISION™ («Линговижен»), способное выполнять в том числе и дендрохронологические исследования (рис. 2).



Рис. 1. Дендрохронологический прибор LINTAB

Fig. 1. LINTAB tree-ring measurement station



Рис. 2. Многофункциональное устройство LIGNOSTATION

Fig. 2. LIGNOSTATION multifunction device

По сравнению с «Линтаб», представленный программно-аппаратный комплекс конструктивно более современен и в то же время сложен. По данным компании-изготовителя, точность оптического сканирования достигает 1/10 мм (<http://www.rinntech.de>). В процессе работы комплекс перед измерением осуществляет подготовку поверхности (выравнивание) исследуемого образца фрезерованием. Затем происходит автоматическое оптическое сканирование. После чего программа «Линговижен» распознает размеры годовичных колец [16].

Несмотря на все преимущества и достаточно широкое применение устройств [10, 11, 13, 17], они имеют и некоторые недостатки, связанные с продолжительностью выполнения измерений, сложностью использования и стационарностью, а самое главное – высокую стоимость (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение дендрохронологических оптических устройств

Устройство	Стоимость*, тыс. р.	Погрешность измерения, мм	Степень автоматизации	Способ измерения
«Линтаб» с ПО «ТСАП-Вин»	440...2 000	0,03	Полуавтоматическая	По контуру годовых колец
«Лигностейшн» с ПО «Линговижен»	7 600... 12 800	0,1	Автоматическая	

* Приведена цена с официального сайта RINNTECH в России (<http://resistograph.ru>). Пересчет из евро в рубли осуществлен по курсу московской биржи на 23.01.2018 г.

Таким образом, в настоящее время разработки новых технических решений, направленных на снижение стоимости, повышение автономности и мобильности дендрохронологических исследований, являются актуальной опытно-конструкторской задачей.

Цель данной работы – совершенствование и повышение доступности дендрохронологических исследований путем синтеза новых технических решений.

Объекты и методы исследования

Для систематизированного поиска новых технических решений использован метод морфологического исследования, созданный швейцарским астрофизиком Ф. Цвикки, который заключается в построении морфологической матрицы всех возможных технических решений с последующим синтезом.

В этом аспекте проанализировано многообразие воздействий на древесину: механические, климатические, биологические, специальные среды, ионизирующие и электромагнитные излучения. Поскольку силовые параметры механического воздействия находятся в тесной связи со свойствами и строением древесины и с технической точки зрения менее затратны и наиболее просты в исполнении, было решено остановиться на механических воздействиях (растяжение, сжатие, изгиб, кручение, вдавливание и срез). В свою очередь, при определении прироста годовых колец у древесины наиболее простым и подходящим видом механического воздействия является срез, или простое резание, так как в этом случае можно установить свойства древесины в любой локальной области. Поскольку физико-механические свойства древесины находятся в прямой зависимости от энергосиловых параметров ее резания, то в процессе простого прямолинейного резания в торец в строго радиальном направлении с постоянной скоростью изменение усилий, действующих на резец, будет соответствовать динамике свойств и приросту древесины в этом же направлении.

В качестве прототипов при разработке технических решений для дендрохронологического исследования выбраны две установки. Первая [4], измеряющая касательную составляющую сил резания, включает: механизм продвижения державки с режущим инструментом, состоящий из винтовой передачи и мотор-редуктора; подвижный окуляр с фокусом, наведенный на режущую

кромку реза и движущийся вместе с ним; измерительную систему. Вторая [8], позволяющая определять касательную и радиальную составляющие сил резания, состоит из станины, на которой закреплены при помощи винтового вала два подвижных суппорта с образцом и неподвижным режущим инструментом; червячный редуктор, осуществляющий посредством винтовой передачи процесс резания за счет надвигания образца материала на резец. Измерение усилий резания в обеих установках производится тензометрическими датчиками.

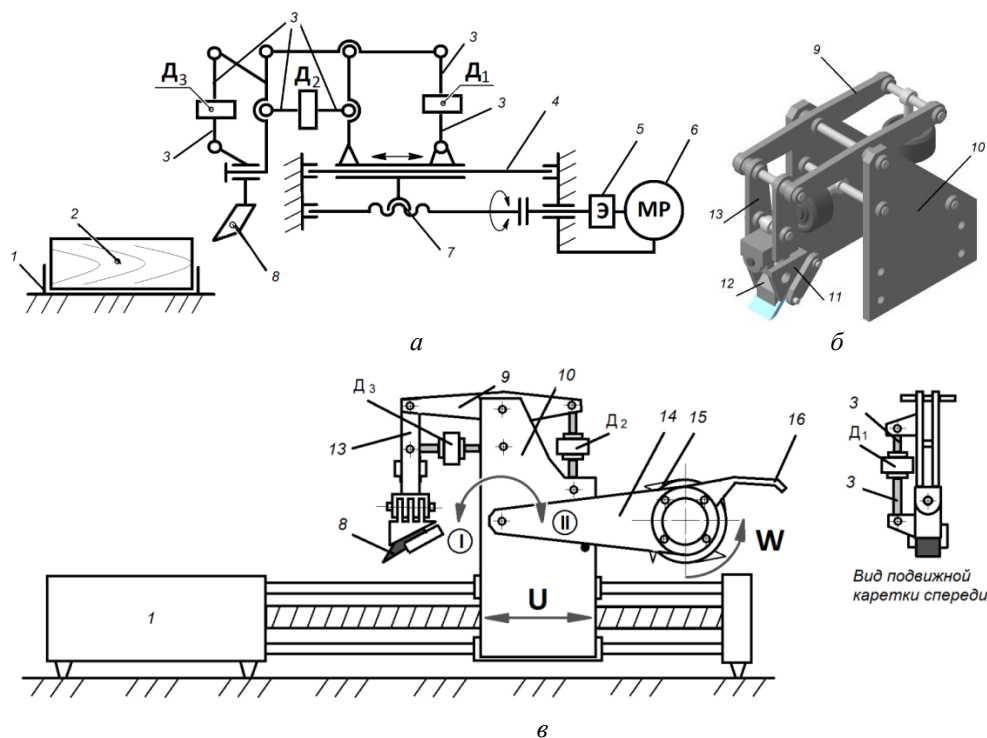


Рис. 3. Устройство для дендрохронологических исследований древесины простым резанием: *а* – кинематическая схема устройства; *б* – модель подвижной каретки; *в* – компоновка устройства; 1 – стол для закрепления образца; 2 – исследуемый образец; 3 – датчики (растяжения/сжатия) D_1 , D_2 , D_3 ; 4 – линейные направляющие; 5 – энкодер; 6 – механизм надвигания резца (мотор-редуктор); 7 – винтовая передача; 8 – резец; 9 – стрела; 10 – каретка; 11 – державка; 12 – клинообразная пластина для зажатия и фиксации резца в державке; 13 – рукоятка; 14 – рамка; 15 – прорезные фрезы и привод их вращения; 16 – опоры

Fig. 3. Device for dendrochronological analysis of wood by simple cutting: *a* – kinematic diagram of the device; *б* – model of a movable carriage; *в* – device layout; 1 – table for fixing the sample; 2 – test sample; 3 – sensors (tension/compression) D_1 , D_2 , D_3 ; 4 – linear guides; 5 – encoder; 6 – mechanism of a cutter thrust (gearmotor); 7 – screw gear; 8 – cutter; 9 – arrow; 10 – carriage; 11 – holder; 12 – wedge-shaped plate for clamping and fixing the cutter in the holder; 13 – handle; 14 – frame; 15 – slotting cutters and a drive of their rotation; 16 – supports

Недостатки рассмотренных устройств:

невозможно закрепить и исследовать спилы деревьев или бревен целиком;

усилия и удельная работа резания определяются с помощью аналоговых устройств, что не обеспечивает достаточную точность и дискретность измерений; устройства являются стационарными, достаточно массивными и энергоёмкими.

В результате синтеза технических решений разработано новое устройство для дендрохронологического исследования [3], основанное на элементарном резании (рис. 3, а, б).

Перечислим использованные технические решения:

измерение касательной, радиальной и боковой сил выполняется датчиками измерения усилий растяжения и сжатия (далее – датчики);

выходные параметры оцифровываются аналого-цифровым преобразователем (далее – устройство сбора данных) и передаются на компьютер в виде цифровых сигналов для обработки; отображение и хранение данных происходит в специально разработанном программном обеспечении;

державка с резцом шарнирно закреплена на консоли, которая состоит из двух шарнирно сочлененных с кареткой частей (маятниковый стержень, стрела), что позволяет осуществлять свободное отклонение резца в направлении действия радиальной, касательной и боковой составляющих сил резания в процессе элементарного резания. Шарнирно установленные распорки консоли являются одновременно стержнями с датчиками, которые придают жесткость конструкции, а датчикам – возможность измерения трех составляющих сил резания.

В разработанном устройстве планируется применять: устройство сбора данных (УСД) NI USB-6008 [9]; три датчика силы растяжения/сжатия Burster 8524-6050 [1]; энкодер с датчиком Холла [2] для мотор-редуктора IG-52GM с характеристиками [7], указанными в табл. 2.

Таблица 2

Основные характеристики компонентов измерительной схемы устройства для дендрохронологического анализа

Компонент	Параметр	Значение
Аналогово-цифровой преобразователь (УСД NI USB-6008)	Диапазон измерений (схема с общим проводом / дифференциальная схема)	$\pm 10/\pm 20$ В
	Погрешность измерения	84 мВ
	Частота дискретизации	До 10 кГц
	Рабочий диапазон температур	0...50 °С
Датчики растяжения и сжатия (Burster 8524-6050)	Диапазон измерений	0±50 Н
	Приведенная погрешность	До 0,25 %
	Безопасная перегрузка от номинальной нагрузки	150 %
	Рабочий диапазон температур	-30...80 °С
Мотор-редуктор постоянного тока на подачу с энкодером (IG-52GM)	Выходная мощность	58,6 Вт
	Номинальный крутящий момент электродвигателя	0,047 Н·м
	Время падения/нарастания сигнала энкодера	1,5 мс
	Рабочий диапазон температур	-10...50 °С

При простом резании для точного определения дендрохронологических характеристик необходима специальная подготовка образца. Для этого в конструкции устройства предусмотрены три фрезы. Пазовая дисковая фреза осу-

ществляет подготовку поверхности резания, тем самым выравнивая торцевую поверхность образца, две прорезные фрезы создают канавки ниже подготовленной поверхности для открытого резания. Прорезные фрезы имеют отдельный привод вращения и устанавливаются на откидной рамке, шарнирно соединенной с кареткой (рис. 3, в).

В качестве резцов могут использоваться твердосплавные пластины, применяемые в круглых деревообрабатывающих пилах. Угол заострения резца зависит от его заточки, передний, задний углы и угол резания настраиваются посредством поворота рукояти относительно стрелы путем изменения длины распорок с датчиком. Распорки имеют на поверхности резьбу и в зависимости от их направления вращения отталкивают или притягивают рукоять и стрелу, а также поворачивают державку с резцом на некоторый угол относительно горизонтальной поверхности резания. Вращение распорок происходит вместе с датчиками. Толщина срезаемой стружки исследуемого материала изменяется несколькими способами:

- изготовлением образцов заданных размеров;
- установкой резца в державке в определенном положении;
- поворотом стрелы относительно подвижной каретки посредством изменения длины распорок с датчиком.

Определение пути прохождения режущего инструмента при резании осуществляется энкодером, установленным на приводе механизма надвигания режущего инструмента.

Для крепления образцов на столе могут использоваться зажимные механизмы, например в виде струбцин и тисков.

Результаты исследования и их обсуждение

Энкодер определяет скорость перемещения и позицию резца в момент резания, датчики силы фиксируют динамику сопротивления простому резанию в процессе подачи резца в материале. Поэтому точность определения прироста древесины и различных параметров годичных колец зависит от дискретности, точности и чувствительности энкодера и датчиков силы, основные из которых приведены в табл. 2.

Наибольший интерес представляют характеристики устройства, которые были найдены с учетом наихудших параметров каждого из отдельных компонентов измерительной схемы (табл. 3).

Таблица 3

Расчетные характеристики разработанного устройства

Параметр	Значение
1. Min/max дискретность измерения перемещения резца: а) по винтовой передаче б) по перемещению резца	$\approx 0,053/0,01$ об/с $\approx 0,26/0,012$ мм
2. Абсолютная погрешность измерения усилий резания	0,25 Н (0,0255 кг)
3. Относительная погрешность измерения усилий резания	$\approx \pm 1$ %
4. Среднее энергопотребление (без фрезерования): а) за 1 ч работы б) на 1 образец – спил дерева	$\approx 0,025$ кВт $\approx 0,67/0,039$ Вт
5. Источник питания (тип, напряжение)	Постоянный ток (аккумулятор), 12 В
6. Рабочий диапазон температур	0...50 °С
7. Масса нетто (зависит от длины станины – хода каретки)	10...18 кг

Поскольку не был теоретически исследован процесс элементарного резания древесины в торец, то исходя из возможного ассортимента мотор-редукторов серии IG и шарико-винтовых передач были подобраны максимальная и минимальная скорости надвигания (подачи) резца на образец (2,1 и 50,0 мм/с) и передаточное число редуктора (53 и 19 соответственно). В табл. 3 дробные величины также соответствуют минимальной и максимальной скорости надвигания.

Таким образом, точность (табл. 3, п. 1, б) разработанного устройства не уступает прямому аналогу – «Линтабу» и удовлетворяет требованиям к точности, которые установлены для дендрохронологических исследований. Использование электроприводов совместно с источниками постоянного тока (12 В) в виде аккумуляторов или генераторных станций на жидком топливе позволяет проводить исследования в полевых условиях, т. е. повышаются автономность и мобильность. Предварительная стоимость прибора – не более 250 тыс. р.

К недостаткам разработанного нами и рассмотренных в данной работе устройств относится необходимость получения образцов, т. е. применение разрушающего воздействия на древесину.

Заключение

Основное предназначение разработанного устройства – выполнение дендрохронологического анализа и макроскопических исследований древесины. Результатами поиска, анализа и синтеза технических решений являются снижение стоимости прибора ориентировочно до 250 тыс. р., повышение автономности и мобильности дендрохронологических исследований, увеличение надежности работы за счет упрощения конструкции.

Устройство позволяет исследовать силовые характеристики процесса резания древесины. В сравнении с существующими установками для измерения усилий элементарного резания оно не только определяет три основные составляющие силы резания: касательную, радиальную и боковую, но и обладает повышенными точностью ($\pm 1\%$) и дискретностью (0,26...0,012 мм) измерений. Применение современных высокоточных компонентов в измерительной схеме и программного обеспечения уменьшает продолжительность и упрощает процедуру преобразования, записи, обработки данных.

Для внедрения полученных результатов в практику необходимо провести работы по реализации устройства в технической части и созданию прикладной программы с удобным пользовательским интерфейсом и широким набором функциональных возможностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Датчики силы сжатия/растяжения. Модель 8524 (Pdf-файл) // Измерительное оборудование Buser. Режим доступа: http://www.burster-m.ru/pdf_burster/8524.pdf (дата обращения: 25.01.2019). [Sensors of Compression/Tension Force. Model 8524. *Measuring Equipment Buser*. 2019].
2. Датчики Холла для мотор-редукторов серии RA, RB и IG // ООО «Электропривод». Режим доступа: <http://electroprivod.ru/encoder.htm> (дата обращения: 25.01.2018). [*Hall Effect Sensors for Gear Motors of the RA, RB and IG Series*. LLC “Electroprivod”].

3. Заявка 2016129574 Российская Федерация, МПК G01N 3/58. Способ и устройство для измерения усилий элементарного резания / Чернов В.Ю., Магальяс Н.А., Цой О.В., Малтакова Е.В., Кузьмина А.В.; заявители: Чернов В.Ю., Малтакова Е.В., Кузьмина А.В. № 2016129574; заявл. 19.07.2016, опубл. 24.01.2018. [Chernov V.Yu., Magalyas N.A., Tsoj O.V., Maltakova E.V., Kuzmina A.V. *Method and Device for Measuring Forces of Simple Cutting*. Patent Application RF, no. 2016129574, 2018].

4. Любченко В.И., Суханов В.Г. Лабораторный практикум по резанию древесины и дереворежущему инструменту: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2004. 28 с. [Lyubchenko V.I., Sukhanov V.G. *Laboratory Practicum on Wood Cutting and Wood Cutting Tools: Educational Textbook*. Moscow, MGUL Publ., 2004. 28 p.]

5. Матвеев С.М., Румянцев Д.Е. Дендрохронология: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Воронеж: ВГЛТА, 2013. 139 с. [Matveyev S.M., Rumyantsev D.E. *Dendrochronology: Educational Textbook*. Voronezh, VGLTA Publ., 2013. 139 p.]

6. Методические рекомендации по криминалистической экспертизе объектов растительного происхождения / отв. ред. М.И. Розанов. М.: ВНИИСЭ, 1972. 21 с. [Instructional Guidelines for Criminalistics Expert Examination of Objects of Plant Origin. Editor in Chief M.I. Rozanov. Moscow, VNIISE Publ., 1972. 21 p.]

7. Мотор-редукторы: Мотор-редуктор IG-52GM (Pdf-файл) // ООО «Электропривод». Режим доступа: <https://electroprivod.ru/pdf/shayang/IG-52GM.pdf> (дата обращения: 25.01.2018). [Gearmotors. *Garmotors Manufactured by SHAYANG YE INDUSTRIAL: Gearmotor IG-52GM*. 2002–2019. LLC “Elektroprivod”].

8. Санёв В.И., Сергеевичев А.В. Основы резания древесины: лаб. практикум. СПб.: СПбГЛТА, 2007. 87 с. [Sanev V.I., Sergeevich A.V. *Wood Cutting Basics: Laboratory Practicum*. Saint Petersburg, SPbGLTA Publ., 2007. 87 p.]

9. USB-6008. Многофункциональное устройство ввода-вывода // National Instruments]. URL: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/ru/nid/202751> (дата обращения 25.01.2018). [National Instruments. Products: Multifunctional Input-Output Device USB-6008. 2018].

10. Den Bulcke J.V., Wernersson E.L.G., Dierick M., Loo D.V., Masschaele B., Brabant L., Boone M.N., Hoorebeke L.V., Haneca K., Brun A., Hendriks C.L.L., Acker J.V. 3D Tree-Ring Analysis Using Helical X-Ray Tomography. *Dendrochronologia*, 2014, vol. 32, iss. 1, pp. 39–46. DOI: [10.1016/j.dendro.2013.07.001](https://doi.org/10.1016/j.dendro.2013.07.001)

11. Dukpa D., Tenzin K., Krusic P.J., Khandu Y., Wangchuk S. *Dendrochronology Manual*. Bumthang, Bhutan, UWICE Press, 2017. 44 p.

12. Nasswetrová A., Křivánková S., Šmíra P. Comparison of the Results of Dendrochronological Measuring Based on Different Images of a Historical Wood Sample of Silver Fir (*Abies alba*) from the Czech Republic. *Wood Research*, 2017, vol. 62(1), pp. 113–124.

13. Rinn F. *TSAP-Win – Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and Related Applications, TSAP-WIN Version 4, 64*. RinnTech, 2011, pp. 24–25.

14. Rinn F. Practical Application of Micro-Resistance Drilling for Timber Inspection. *Holztechnologie*, 2013, vol. 54, pp. 32–38.

15. Speer J. *Fundamentals of Tree-Ring Research*. Tucson, University of Arizona Press, 2012. 360 p.

16. UseScience System. Wood Density Measuring System LignoStation. Rinntech. Available at: <https://scientificservices.eu/item/wood-density-measuring-system-lignostation/3573> (accessed 13.05.2019).

17. Zeller L., Ammer Ch., Annighöfer P., Biber P., Marshall J., Schütze G., del Río Gaztelurrutia M., Pretzsch H. Tree Ring Wood Density of Scots Pine and European Beech Lower in Mixed-Species Stands Compared with Monocultures. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 400, pp. 363–374. DOI: [10.1016/j.foreco.2017.06.018](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.018)

A DEVICE FOR DENDROCHRONOLOGICAL ANALYSIS

V.Yu. Chernov, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [X-4439-2019](#),
ORCID: [0000-0001-9496-7340](#)

O.V. Tsoy, Master; ORCID: [0000-0001-8028-2201](#)

N.A. Magalyas, Master; ORCID: [0000-0002-4940-8918](#)

M.S. Chernova, Postgraduate Student; ResearcherID: [X-4073-2019](#),
ORCID: [0000-0002-0192-5158](#)

Volga State University of Technology, pl. Lenina 3, Yoshkar-Ola, Mari El Republic, 424000, Russian Federation; e-mail: Chernov.vas7936@yandex.ru, lelik-ha4@mail.ru, mashael0906@mail.ru

Many techniques and devices for dendrochronological analysis of wood have been developed since the 70s of the 20th century. They are mainly based on the technical solutions proposed by B. Eklund. Currently used methods are based on the contour analysis of annual rings on cross sections of wood by the means of optical magnifying devices. Despite the engineering superiority and high cost, modern equipment has significant weaknesses related to measurement accuracy, work autonomy, and analysis duration. The research purpose is to eliminate the weaknesses by synthesis of engineering solutions and development of a new device. The new device was based on principle of measuring the forces of simple translational end-grain cutting and width determination of annual rings since the power parameters of mechanical cutting are closely related to the wood properties and structure. The device cost was reduced approximately to 250 thousand rubles, its reliability was increased by design simplifying and using simple measuring components, autonomy, and mobility of dendrochronological analysis as a result of the conducted work. The developed device has high accuracy ($\pm 1\%$) and measuring resolution (0.26...0.012 mm). It can find application in dendrochronological analysis through studies of macroscopic structure of wood and power parameters of wood cutting.

For citation: Chernov V.Yu., Tsoy O.V., Magalyas N.A., Chernova M.S. A Device for Dendrochronological Analysis. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 5, pp. 158–166. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.158

Keywords: dendrochronological analysis of wood, macrostructure, simple progressive wood cutting, power action parameters of wood cutting, accuracy and resolution of measurements.

Поступила 31.03.18 / Received on March 31, 2018
