

3. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ

УДК 630*8

Е.С. Шарапов, Е.В. Смирнова, А.С. Торопов

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЕРЛЕНИЮ

Введение. Измерение сопротивления сверлению относится к частично разрушающим механическим методам определения свойств древесины и древесных материалов. Метод широко используется для определения плотности и механических свойств древесины [Ceraldi et al., 2001; Park et al., 2006; Bouffier et al., 2008; Zhang et al., 2009; Faggiano et al., 2011; Henriques et al., 2011; Kloiber et al., 2014; Шарапов и Чернов, 2014; Oliveira et al., 2017], внутреннего состояния древесины в растущих деревьях [Johnstone et al., 2007; Wang and Allison, 2008; Allison and Wang, 2015] и деревянных строительных конструкциях [Ceraldi et al., 2001; Frühwald et al., 2011; Rinn, 2012; Imposa et al., 2014]. В частных случаях метод основан на косвенном измерении усилий резания и подачи, возникающих при просверливании древесины и древесных материалов тонким буровым сверлом с диаметром режущей части, не превышающим 3 мм.

Большинство результатов исследований, представленных в научной литературе, получены при использовании устройств для измерения сопротивления древесины просверливанию, выпускаемых фирмами IML System GmbH (Вислох, Германия) и Rinntech (Хайдельберг, Германия). Устройства во многом технически схожи и состоят из узлов вращения, подачи тонкого бурового сверла, а также блока обработки, сохранения и вывода результатов замеров [Kamm and Voss, 1987]. На основании различных подходов данные устройства фиксируют силовые параметры процесса сверления древесины в определенный момент времени, которые характеризуют ее физико-механические свойства. Результаты измерений представляются в виде графиков изменения силовых параметров процесса сверления (сопротивления

древесины просверливаю) с установленной производителем величиной дискретности относительно глубины сверления. В рассматриваемых устройствах в качестве выходных параметров, коррелирующих со свойствами древесины, используются характеристики, реальные физические значения которых не представлены производителями. В частности, в устройствах для определения свойств древесины фирмы IML в качестве выходной величины используются удельные параметры амплитуды сверления и подачи, которые имеют размерность в процентах с максимальным значением записи данных не более 100%. Устройства компании Rinntech записывают результаты измерений в абсолютных значениях «Resi», характеризующих сопротивление древесины просверливаю. Очевидно, что производители в большей степени заинтересованы в увеличении продаж своей продукции, тогда как с целью научного обоснования результатов замеров необходима унифицированная методика исследований, где в качестве выходных параметров, характеризующих свойства (в частности плотность и механические свойства) и внутреннее состояние древесины будут использованы реальные физические параметры. При этом накопленные результаты по изучению свойств древесины методом измерения сопротивления сверлению, полученные при использовании различных устройств и их модификаций, могут быть использованы для сопоставления и дополнения существующих моделей корреляции физико-механических свойств и сопротивления древесины сверлению.

В качестве выходных параметров, характеризующих процесс сверления и свойства древесины, может быть использована мощность сверления и подачи (Вт). Предложенный вариант является универсальным и реализован в устройстве для диагностики внутреннего состояния древесины в растущих деревьях и деревянных конструкциях ResistYX(ООО НовЛесТех, Йошкар-Ола).

Сравнительный анализ работы устройств IML-Resi Power Drill (PD) 400 и ResistYX позволит найти взаимосвязь выходных параметров, полученных с различных устройств, осуществлять сравнение и корректировку данных, что и являлось целью исследований.

Методика исследований

Подготовка образцов. При проведении тестов были использованы 19 образцов размерами $15 \times 25 \times 50$ мм³, изготовленные из древесины сосны (*Pinus sylvestris* L., *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws.), бука (*Fagus sylvatica* L.), дуба (*Quercus robur* L.) и березы (*Betula pendula* L.), а также 2 образца сосны (*Pinus sylvestris* L.) размерами $25 \times 25 \times 85$, не имеющие дефектов. Перед просверливанием образцы выдерживались в климатической камере при 20 °C/65% RH до достижения постоянной массы. Впоследствии определя-

лась плотность древесины при нормализованной влажности стереометрическим способом (ГОСТ 16483.1-84). Статистическая обработка опытных данных осуществлялась при уровне доверительной вероятности 95%.

Устройства для измерения сопротивления сверлению. Каждый из образцов просверливался последовательно устройствами для измерения сопротивления сверлению IML-RESI PD-400 и ResistYX (рис. 1, а, б). В ходе экспериментов использовалось одно стандартное буровое сверло для измерения сопротивления сверлению фирмы IML (рис. 1, с, д). Общая длина сверла составляла 400 мм, диаметр хвостовика 1,5 мм, максимальный диаметр хромированной режущей части был равен 3 мм. Режущая часть сверла имела направляющий центр и две симметричные главные режущие кромки, расположенные перпендикулярно оси его вращения. На основании микрофотографий режущей части сверла с помощью оптического микроскопа AxioPlan 2 (CarlZeiss Microscopy GmbH, Германия) были измерены основные геометрические (микргеометрические) параметры главных режущих кромок. Кромка №1: передний угол резания $\gamma \approx -1,7$ град., угол заострения $\beta = 61,5$ град., задний угол резания $\alpha \approx 30,2$ град., длина режущей кромки 1140 мкм, начальный радиус округления кромки $\rho_0 \approx 32$ мкм; кромка №2: передний угол резания $\gamma \approx -1,9$ град., угол заострения $\beta = 58,9$ град., задний угол резания $\alpha \approx 33$ град., длина режущей кромки 1271 мкм, начальный радиус округления кромки $\rho_0 \approx 39$ мкм.

Устройство PD-400 позволяло осуществлять замер и сохранение данных сопротивления древесины сверлению (DR, Drilling resistance) и подаче (FR, Feeding resistance) в процентах. При этом максимально возможная для записи величина данных параметров составляла 100%. Сохранение данных сопротивления древесины сверлению и подаче происходило каждые 0,1 мм глубины просверливания. Скорость вращения бурового сверла составляла 5000 мин⁻¹, скорость подачи 0,5 м/мин. Просверливание с использованием устройства ResistYX осуществлялось при скорости вращения сверла 6100 мин⁻¹ и скорости подачи 0,4875 м/мин. Сохранение данных мощности сверления происходило каждые 0,03 мм глубины просверливания. Запись и обработка сигналов мощности сверления и подачи бурового сверла в устройстве ResistYX производились с помощью измерительного шлейфа, созданного на основе устройства сбора данных «National Instruments» USB 6008, и прикладной программы ResistVIEW, 1.0, созданной в среде LabVIEW [Свидетельство № 2016662108, 2016]. Потребляемая электрическая мощность преобразовывалась в механическую с учетом величины коэффициента полезного действия электродвигателя, вращающего тонкое буровое сверло.

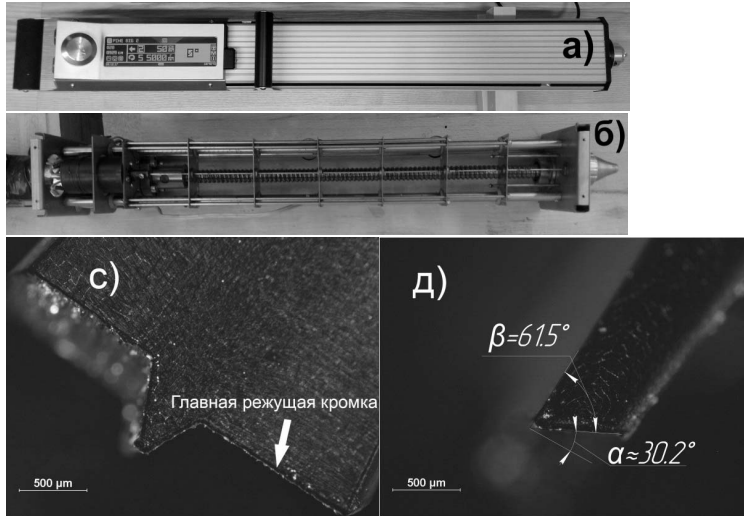


Рис. 1. Используемое оборудование и инструмент для измерения сопротивления сверлению: а) устройство для измерения сопротивления сверлению PD-400; б) устройство для измерения мощности сверления ResistYX; с, д) режущая часть бурового сверла, вид спереди и сбоку соответственно, с обозначением статических углов резания: β – заострения и α – заднего угла резания

Fig. 1. Drilling tools and drill bit used in tests: а) IML-RESI Power Drill 400; б) ResistYX – drilling tool for drilling power measurements; с, д) front and side views of the cutting part of used standard spade drill bit respectively with static sharpness (β) and clearance (α) cutting angles

Просверливание образцов производилось преимущественно в радиально или радиально-тангенциальном направлении перпендикулярно волокнам. Глубина сверления для каждого из образцов составляла 25 мм. Расстояние между соседними просверливаниями были не менее 15 мм. На основании незначительных величин общей глубины сверления для всех образцов, а также для каждого образца в отдельности, предполагалось отсутствие значимого влияния затупления режущей части бурового сверла [Sharapov et al., 2018] и трения хвостовика сверла [Sharapov et al., 2017] на результаты замеров.

Подача на резец. Одним из важных параметров процесса резания древесины, который влияет на силы и мощность резания (сверления), является толщина срезаемого слоя. Варьирование скорости подачи и скорости вращения бурового сверла оказывает влияние на величину номинальной подачи на главные режущие кромки сверла согласно Бершадскому А.Я. и Цветковой Н.И.

(уч. пособие «Резание древесины». Минск, 1975 г.); Любченко В.И. (учебник «Резание древесины и древесных материалов. М.: МГУЛ, 2004):

$$\Delta = \frac{1000 u_s}{zn}, \quad (1)$$

где Δ – подача на главную режущую кромку сверла (мм), u_s – скорость подачи (м/мин), z – количество главных режущих кромок, n – скорость вращения сверла (мин^{-1}).

На основании зависимости (1) величина подачи на резец (главную режущую кромку) для устройства PD-400 составляла 0,05 мм, а для устройства ResistYX 0,04 мм. Для корректного сопоставления данных сопротивления древесины сверлению (устройство PD-400) и мощности сверления (устройство ResistYX), полученных при различных скоростях вращения и подачи, необходимо преобразовать данные с учетом величин подачи на главные режущие кромки. Корректировке подвергались данные по мощности сверления с учетом предполагаемой пропорциональной ее зависимости от величины подачи на главные режущие кромки.

Результаты исследования. Плотность древесины используемых образцов при нормализованной влажности (ρ_{12}), средние значения величин сопротивления древесины сверлению (DR) и подачи (FR), а также мощности сверления (MC) для каждого из образцов представлены в таблице.

Профили изменения сопротивления древесины просверливанию и мощности сверления для одного из образцов сосны представлены на рис. 2. Отсутствие резкого изменения фиксируемых параметров в начале процесса сверления и при выходе режущей части сверла из образца характерно для обоих используемых устройств. Это может быть связано с конструктивными особенностями режущей части используемого тонкого бурового сверла, а также плавным увеличением подачи на главные режущие кромки до номинального значения в начале процесса сверления (уменьшением подачи на главные режущие кромки при выходе сверла из образца). Сопротивление древесины просверливанию и мощность сверления в начале и конце процесса сверления, приходящиеся на глубину сверления 0,5 мм, не учитывались при расчете средних величин данных параметров.

Колебания величин сопротивления древесины просверливанию и мощности сверления, представленные на рис. 2, связаны с изменениями свойств в пределах годовичных слоев древесины. Обобщая результаты исследований, можно констатировать, что данные, полученные при просветлении одних и тех же образцов разными устройствами, имели достаточную степень сходимости по амплитуде и глубине просверливания.

Средние величины сопротивления древесины просверливанию и подаче (устройство PD-400) и мощности сверления (устройство ResistYX), подкорректированной с учетом разницы величин подачи на главные режущие кромки сверла

Mean drilling and feeding resistance (PD-400 drilling tool) and drilling power (ResistYX drilling tool) corrected taking in account the feed rate per major cutting edges

№	Порода	ρ_{12} , кг/м ³	DR, %	FR, %	MC, Вт	DR/MC
1	Бук (<i>F. sylvatica</i>)	650,1	12,57	7,10	17,89	0,70
2		645,3	11,61	6,48	17,45	0,67
3		633,6	11,27	6,55	17,98	0,63
4		702,9	13,43	8,94	21,09	0,64
5		660,4	12,45	7,18	18,55	0,67
1	Дуб (<i>Q. robur</i>)	602,2	4,21	2,97	7,23	0,58
2		594,0	4,83	3,45	7,74	0,62
3		605,1	5,09	3,69	7,91	0,64
4		580,2	4,17	2,85	7,46	0,56
5		602,9	4,90	2,18	9,34	0,52
1	Береза (<i>B. pendula</i>)	579,1	11,29	6,10	17,17	0,66
2		610,6	10,55	5,66	15,44	0,68
3		610,1	12,06	8,49	17,98	0,67
4		617,4	10,84	5,76	16,42	0,66
5		623,2	10,66	5,20	16,28	0,65
1	Сосна (<i>P. sylvestris</i>)	497,1	4,37	5,92	7,74	0,56
2		476,5	4,43	5,12	8,32	0,53
3		487,8	4,45	5,57	7,52	0,59
4		529,4	4,77	7,32	7,41	0,64
5		529,4	4,69	7,02	7,86	0,60
6	Сосна (<i>P. ponderosa</i>)	453,9	6,51	–	11,10	0,59

Обозначения: ρ_{12} – плотность при нормализованной влажности; DR, FR – сопротивление сверлению и подаче (устройство PD-400); MC – мощность сверления (устройство ResistYX).

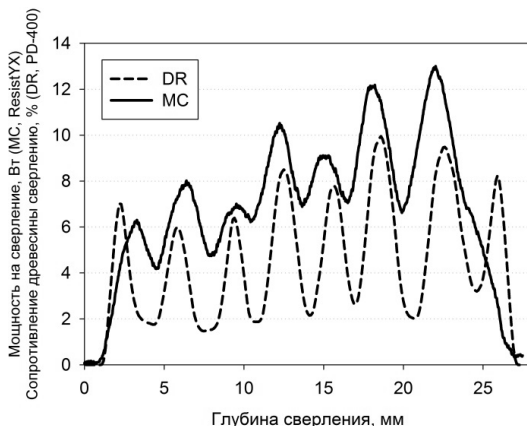


Рис. 2. Результаты замеров сопротивления древесины просверливанию (DR) и мощности сверления (MC), полученные при просверливании образца из древесины сосны
 Fig. 2. Drilling resistance (DR) and drilling power (MC) data obtained from one of the pine specimens

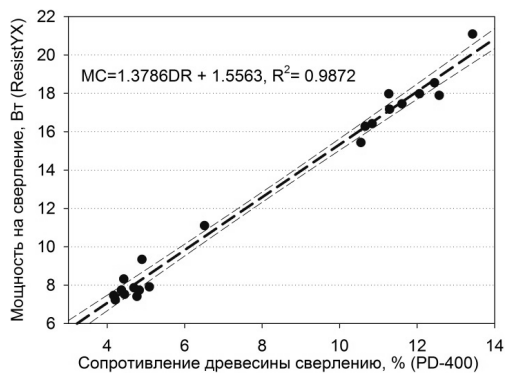


Рис. 3. Взаимосвязь сопротивления древесины просверливанию (DR) и мощности на сверление (MC), подкорректированной с учетом разницы величин подачи на главные режущие кромки сверла
 Fig. 3. Correlation of drilling resistance (DR) and drilling power (MC) which was corrected taking in account the feed rate per major cutting edge obtained from the used drilling tools

Необходимо отметить, что колебания сопротивления древесины просверливанию, соответствующие ранним и поздним зонам годичных слоев, имели более широкую амплитуду в сравнении с мощностью сверления. Причина данного расхождения может быть связана с высокой степенью фильтрации сигналов по мощности сверления для устройства ResistYX или недостаточной степенью точности записи сигналов, характеризующих свойства древесины устройством PD-400. Подтверждение или опровержение данной гипотезы требует проведения отдельной серии опытов.

В качестве одного из вариантов сопоставления данных сопротивления древесины просверливанию и мощности сверления, полученных при использовании различных устройств, может быть использован коэффициент, определяемый отношением одного из параметров к другому (см. таблицу). На основании дисперсионного анализа и использования теста наименьшей существенной разницы (LSD) выявлено статистически значимое отличие средних величин коэффициента между группами образцов различных пород. Отсутствие значимого отличия средних величин коэффициента определено только между образцами из сосны и дуба, а также между образцами из бука и березы. Выявленные значимые отличия в средних величинах коэффициента для групп образцов разных пород ограничивают его практическое использование для сопоставления результатов измерений.

Корреляция сопротивления древесины просверливанию, определенного с помощью устройства PD-400 и мощности просверливания, найденной при использовании устройства ResistYX, представлена на рис. 3. В программе SigmaPlot 14 (Systat Software, Inc., Чикаго, США) получена модель взаимосвязи сопротивления древесины просверливанию и мощности сверления, полученных при использовании различных устройств (рис. 3). Установлена статистическая значимость самой линейной модели и ее коэффициентов. Определена высокая степень взаимосвязи (коэффициент детерминации $R^2 = 0,99$) сопротивления древесины сверлению (PD-400) и мощности сверления (ResistYX).

Выводы. При сравнении результатов замеров сопротивления древесины просверливанию с помощью различных устройств необходимо учитывать скоростные характеристики процесса (скорость вращения и подачи бурового сверла), оказывающие влияние на величину подачи на главные режущие кромки тонкого бурового сверла. Результаты замеров сопротивления древесины просверливанию с помощью устройств PD-400 и ResistYX находятся в тесной линейной взаимосвязи ($R^2=0,99$). Предложенная модель может быть использована для преобразования и сравнения данных сопротивления дре-

веса сверлению и мощности сверления, полученных с использованием тестируемых устройств. Порода древесины оказывает значимое влияние ($p=0,05$) на средние величины отношения данных сопротивления древесины просверливанию и мощности сверления. Максимальная величина сопротивления древесины просверливанию в 100% на устройстве PD-400 соответствует примерно 150 Вт механической мощности.

Дальнейшие исследования в направлении сравнительного анализа работы устройств могут быть связаны с использованием других пород древесины, а также определением комбинированного воздействия влажности древесины и подачи на главные режущие кромки тонкого бурового сверла на сопротивление древесины просверливанию и мощность сверления.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (№ 5.8394.2017/8.9) при частичной поддержке совместной программы Германской службы академических обменов (DAAD ID 91547167, № 11.10012.2017/5.2).

This research work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (№ 5.8394.2017/8.9) and partially supported by the joint program of the German Academic Exchange Service, DAAD (ID 91547167, № 11.10012.2017/5.2).

Библиографический список

Свидетельство № 2016662108 Российская Федерация. ResistVIEW, 1.0: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Шарапов Е.С., Чернов В.Ю., Смирнова Е.В.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «ПГТУ». № 2016619406; заявл. 06.09.2016; зарегистр. 31.10.2016. 1 с.

Шарапов Е.С., Чернов В.Ю. Сравнительный анализ способов определения плотности древесины с помощью рентгеновского излучения и устройства для измерения сопротивления сверлению // Вестник Московского гос. ун-та леса. Лесной вестник. 2014. № 2. С. 89–95.

Allison R.B., Wang X. Nondestructive testing in the urban forest. Pages 77-86 in Ross RJ (ed) Nondestructive Evaluation of Wood, 2nd edn. Gen Tech Rep FPL-GTR-238 USDA For Serv Forest Prod Lab, Madison, WI, 2015.

Bouffier L., Charlot C., Raffin A., Rozenberg P., Kremer A. Can wood density be efficiently selected at early stage in maritime pine (*Pinus pinaster Ait.*)? // Annals of Forest Science. 2008. Vol. 65 (1). P. 106–113. DOI: 10.1051/forest:2007078

Ceraldi C., Mormone V., Russo-Ermolli E. Resistographic inspection of ancient timber structures for the evaluation of mechanical characteristics // Materials and Structures, 2001. Vol. 34 (235). P. 59–64.

Faggiano B., Grippa M.R., Marzo A., Azzolani F.M. Experimental study for non-destructive mechanical evaluation of ancient chestnut timber // Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2011. Vol. 1 (3-4). P. 103–112. DOI: 10.1007/s13349-011-0011-y

Frühwald K., Hasenstab, A., Osterloh, K. Detection of fungal damage of wood in early stages using drilling cores and drilling resistance compared to non-destructive testing methods // Proceedings of the 2011 International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures (SHATIS' 11), 16–17 June. Lisbon, Portugal, 2011.

Henriques D.F., Nunes L., Machado J.S., Brito J. Timberin Buildings: Estimation of some properties using Pilodin® and Resistograph® // Proceedings of the International Conference on Durability of Building Materials and Components, 12–15 April. Porto, Portugal, 2011. P. 1–8.

Imposa S., Mele G., Corrao M., Coco G., Battaglia G. Characterization of decay in the wooden roof of the S. Agata Church of Ragusa Ibla (Southeastern Sicily) by means of sonic tomography and resistograph penetration tests // The International Journal of Architectural Heritage. 2014. Vol. 8 (2). P. 213–223. DOI: 10.1080/15583058.2012.685924

Johnstone D.M., Ades P.K., Moore G.M., Smith I.W. Predicting wood decay in eucalypts using an expert system and the IML-Resistograph drill // Arboriculture & Urban Forestry. 2007. Vol. 33 (2). P. 76–82.

Kamm W.F.G., Voss S. Process and device for determining the internal condition of trees or wooden components. U.S. Patent 4671105, 1987.

Kloiber M., Tippner J., Hrivnak J. Mechanical properties of wood examined by semi-destructive devices // Materials and Structures. 2014. Vol. 47(1-2). P. 199–212. DOI: 10.1617/s11527-013-0055-z

Oliveira J., Wang X., Vidaurre G. Assessing specific gravity of young Eucalyptus plantation trees using a resistance drilling technique // Holzforschung. 2017. Vol. 71 (2). P. 137–145. DOI: 10.1515/hf-2016-0058

Park C.Y., Kim S.J., Lee J.J. Evaluation of specific gravity in post member by drilling resistance test // Mokchae Konghak. 2006. Vol. 34 (2). P. 1–9.

Rinn F. Basics of micro-resistance drilling for timber inspection // Holztechnologie. 2012. Vol. 53 (3). P. 24–28.

Sharapov E., Wang X., Wacker J.P., Smirnova E. Wear behavior of drill bits in wood drilling resistance measurements // Wood and Fiber Science. 2018. Vol. 50 (2). P. 154–166.

Sharapov E., Wang X., Smirnova E. Drill Bit Friction and Its Effect on Resistance Drilling Measurements in Logs // Proceedings of the 20th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, 12–15 September. USDA For Serv Forest Prod Lab, Madison, WI, USA, 2017. P. 405–415.

Wang X., Allsion R.B. Decay detection in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling // Arboriculture & Urban Forestry. 2008. Vol. 34 (1). P. 1–4.

Zhang H., Guo Z., Su J. Application of a drill resistance technique for rapid determining wood density. Progress of Machining Technology // Key Engineering Materials. 2009. Vol. 407–408. P. 494–499.

References

Sharapov E.S., Chernov V.Ju., Smirnova E.V. ResistVIEW, 1.0. Certificate of state registration of computer programsno. 2016662108, 2016. (In Russ.)

Sharapov E.S., Chernov V.Y. Sravnitel'nyi analiz sposobov opredeleniya plotnosti drevesiny s pomoshch'yu rentgenovskogo izlucheniya i ustroystva dlya izmereniya soprotivleniya sverleniyu [Comparative analysis of wood density techniques determination with using X-ray and device for drilling resistance measurements]. *Vestnik MGUL – Lesnoj Vestnik*, 2014, is 2, pp. 89–95. (In Russ.)

Allison R.B., Wang X. Nondestructive testing in the urban forest. Pages 77–86 in Ross RJ (ed.) *Nondestructive Evaluation of Wood*, 2nd edn. Gen Tech Rep FPL-GTR-238 USDA For Serv Forest Prod Lab, Madison, WI, 2015.

Bouffier L., Charlot C., Raffin A., Rozenberg P., Kremer A. Can wood density be efficiently selected at early stage in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.)? *Annals of Forest Science*, 2008, vol. 65 (1), pp. 106–113. DOI: 10.1051/forest:2007078

Ceraldi C., Mormone V., Russo-Ermolli E. Resistographic inspection of ancient timber structures for the evaluation of mechanical characteristics. *Materials and Structures*, 2001, vol. 34 (235), pp. 59–64.

Faggiano B., Grippa M.R., Marzo A., Azzolani F.M. Experimental study for non-destructive mechanical evaluation of ancient chestnut timber. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 2011, vol. 1 (3-4), pp. 103–112. DOI: 10.1007/s13349-011-0011-y

Frühwald K., Hasenstab A., Osterloh K. Detection of fungal damage of wood in early stages using drilling cores and drilling resistance compared to non-destructive testing methods. *Proceedings of the 2011 International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures (SHATIS' 11)*, 16–17 June. Lisbon, Portugal, 2011.

Henriques D.F., Nunes L., Machado J.S., Brito J. Timber in Buildings: Estimation of some properties using Pilodin® and Resistograph®. *Proceedings of the International Conference on Durability of Building Materials and Components*, 12–15 April. Porto, Portugal, 2011, pp. 1–8.

Imposa S., Mele G., Corrao M., Coco G., Battaglia G. Characterization of decay in the wooden roof of the S. Agata Church of Ragusa Ibla (Southeastern Sicily) by means of sonic tomography and resistograph penetration tests. *The International Journal of Architectural Heritage*, 2014, vol. 8 (2), pp. 213–223. DOI: 10.1080/15583058.2012.685924

Johnstone D.M., Ades P.K., Moore G.M., Smith I.W. Predicting wood decay in eucalypts using an expert system and the IML-Resistograph drill. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2007, vol. 33 (2), pp. 76–82.

Kamm W.F.G., Voss S. Process and device for determining the internal condition of trees or wooden components. U.S. Patent 4671105, 1987.

Kloiber M., Tippner J., Hrivnak J. Mechanical properties of wood examined by semi-destructive devices. *Materials and Structures*, 2014, vol. 47 (1-2), pp. 199–212. DOI: 10.1617/s11527-013-0055-z

Oliveira J., Wang X., Vidaurre G. Assessing specific gravity of young Eucalyptus plantation trees using a resistance drilling technique. *Holzforschung*, 2017, vol. 71 (2), pp. 137–145. DOI: 10.1515/hf-2016-0058

Park C.Y., Kim S.J., Lee J.J. Evaluation of specific gravity in post member by drilling resistance test. *Mokchae Konghak*, 2006, vol. 34 (2), pp. 1–9.

Rinn F. Basics of micro-resistance drilling for timber inspection. *Holztechnologie*, 2012, vol. 53 (3), pp. 24–28.

Sharapov E., Wang X., Wacker J.P., Smirnova E. Wear behavior of drill bits in wood drilling resistance measurements. *Wood and Fiber Science*, 2018. Vol. 50 (2), pp. 154–166.

Sharapov E., Wang X., Smirnova E. Drill Bit Friction and Its Effect on Resistance Drilling Measurements in Logs. *Proceedings of the 20th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium*, 12–15 September. USDA For Serv Forest Prod Lab, Madison, WI, USA, 2017, pp. 405–415.

Wang X., Allsion R.B. Decay detection in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2008, vol. 34 (1), pp. 1–4.

Zhang H., Guo Z., Su J. Application of a drill resistance technique for rapid determining wood density. *Progress of Machining Technology. Key Engineering Materials*, 2009, vol. 407–408, pp. 494–499.

Материал поступил в редакцию 03.09.2018 г.

Шаронов Е.С., Смирнова Е.В., Торопов А.С. Сравнительный анализ работы устройств для определения свойств древесины методом измерения сопротивления сверлению // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 225. С. 188–201. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.225.188-201

Использование различных параметров, характеризующих свойства древесины, в устройствах, основанных на измерении сопротивления древесины сверлению, делает невозможным сравнение, а также снижает уровень научной составляющей результатов измерений. В качестве выходных, универсальных параметров, характеризующих процесс сверления и свойства древесины, может быть использована мощность сверления и подачи (Вт). Для сравнительного анализа работы были использованы устройства для измерения сопротивления древесины сверлению IML-RESI PD 400 (IML System GmbH, Вислох, Германия) и устройство для измерения мощности сверления ResistYX (ООО НовЛесТех, Йошкар-Ола). В результате последовательных просверливаний образцов из древесины сосны (*Pinus sylvestris* L., *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws.), бука (*Fagus sylvatica* L.), дуба (*Quercus robur* L.) и березы (*Betula pendula* L.) с нормализованной влажностью определены коэффициенты, рассчитываемые как

отношение средних величин сопротивления древесины сверлению (% PD-400) и мощности сверления (Вт, ResistYX). Установлено, что порода древесины оказывает значимое влияние ($p=0,05$) на средние значения коэффициента среди групп образцов. Определена достаточная степень сходимости результатов замеров, полученных при использовании тестируемых устройств по амплитуде и глубине просверливания. При сравнении результатов замеров сопротивления древесины просверливанию и мощности сверления, полученных при использовании различных устройств, необходимо учитывать скоростные характеристики процесса: скорость вращения и подачи бурового сверла, оказывающие влияние на величину подачи на главные режущие кромки. На основании результатов просверливаний всех образцов получена линейная модель ($R^2=0,99$) взаимосвязи сопротивления древесины просверливанию (устройство PD-400) и мощности сверления (устройство ResistYX). Предложенная модель может быть использована для преобразования и сравнения данных сопротивления древесины сверлению и мощности сверления, полученных с использованием тестируемых устройств.

Ключевые слова: диагностика древесины, свойства древесины, плотность, сопротивление сверлению, мощность сверления.

Sharapov E.S., Smirnova E.V., Toropov A.S. Comparative analysis of drilling tools for wood properties evaluation by the drilling resistance measurements. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2018, is. 225, pp. 188–201 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2018.225.188-201

The use of different parameters for wood properties evaluation by the drilling resistance measurements makes difficulties in data comparison, and also reduces the level of scientific component of the results. Drilling and feeding power (W) can be used as universal output parameters which characterize the drilling process and properties of wood. An IML-RESI PD 400 (IML System GmbH, Wiesloch, Germany) and ResistYX (LLC NovlesTech, Yoshkar-Ola, Russian Federation) drilling tools were used for comparative analysis. Laboratory drilling resistance experiments were conducted using a standard spade drill bit (IML System GmbH) and defect free specimens of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws.), European beech (*Fagus sylvatica* L.), English oak (*Quercus robur* L.) and birch (*Betula pendula* L.). Specimens were conditioned in normal climate (20 °C/65%RH). Ratio coefficients between mean drilling resistance (% PD-400) and drilling power (W, ResistYX) were calculated for each specimen. It was found that wood species has a significant effect ($p=0,05$) on the mean ratio coefficient of wood drilling resistance and drilling power. A sufficient degree of convergence between drilling resistance and drilling power in terms of amplitude and drilling depth was found for every separate specimen. Rotational speed and feed rate of drill bit influence the nominal chip thickness (feed rate per major cutting edge) and should be taken into

account for comparison of results obtained from used drilling tools. Linear correlation ($R^2=0.99$) was found between mean drilling resistance (PD-400) and drilling power (ResistYX). The model can be used for the results of the drilling resistance and drilling power converting or comparison obtained from the tested drilling tools.

Key words: wood quality assessment, wood properties, density, drilling resistance measurement, drilling power.

ШАРАПОВ Евгений Сергеевич – ведущий научный сотрудник Управления научной и инновационной деятельности Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия.
E-mail: sharapoves@volgatech.net

SHARAPOV Evgenii S. – PhD (Technical), senior researcher, Volga State University of Technology.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Mari El Republic. Russia.

СМИРНОВА Елена Владимировна – аспирант кафедры деревообрабатывающих производств Поволжского государственного технологического университета.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия.
E-mail: smirnovaev@volgatech.net

SMIRNOVA Elena V. – PhD student, Department of Woodworking Industry, Volga State University of Technology.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Mari El Republic. Russia.

ТОРОПОВ Александр Степанович – директор Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия.

TOROPOV Aleksandr S. – DSc (Technical), director of the Center of Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia.