

12. Chubinskii A.N. Formation of adhesive joints of wood. SPb.: SPbGU, 1992. 164 p.
13. Plywood. Guiding the technical and technological materials RDZ-2000. SPb.: AOZT TsNIIF, 2001. 202 p.
14. Chubinsky A.N., Okuma M., Sugiyama J. Observation on the deformation of wood cells in the gluing process of veneer // Bull. of the Tokyo Univ. Forests. 1990. Vol. 82, № 2. P. 131-135.
15. Goto N., Saiki H. Studies on Wood Gluing. XIII: Gluability and Scanning Electron Microscopic Study of wood - Polypropylene Bonding // Wood Science and technology. 1982. № 16 (4). P. 21-31.
16. Hse Chung - Yun. Wettability of Southern Pine Veneer by phenol Formaldehyde wood adhesives // Forest Products Journal. 1972. № 22 (1). P. 51-56.
17. Hse Chung - Yun. Influence of Resin Formulation Variables on Bond Quality of Southern Pine Plywood // Forest Products Journal. 1972. № 22 (9). P. 104-108.
18. Jokel J., Pavlikova M.V. Ply v Vikosti na Obsah Volnych Radikalov v dreve // Drevarsky Vyskum. 1979. № 24 (4). P. 11-22.
19. Nguen T., Johns W.E. The Effects of Aging and Extraction on the Surface Free Energy of Douglas Fir and Redwood // Wood Science and Technology. 1979. № 13. P. 29-40.
20. Varankina G.S., Chubinsky A.N. Modification of urea - formaldehyde resins shungite sorbents // Development and modernization of production // International conference on production engineering. Bihac: Bihac University. 2013. P. 1-4.
21. Varankina G.S., Vysotskii A.V. Effective low - toxic aluminosilicate fillers for phenol - formaldehyde adhesives for plywood and particleboard // Adhesives in woodworking Industry. Zvolen, 1997. P. 114-120.
22. Chauzov K., Varankina G. Investigation on gluing Larch Wood by modified. glue. Development and modernization of production // International conference on production engineering. Budva, Crna Gora: Bihac University. 2013. P. 737-743.
23. Uguina Maria A., Sotelo Jose L. Roles of ZSM-5 modifier agents in selective toluene disproportionation // Can. J. Chem. Eng. 1993. Vol. 71, № 4. P. 558.
24. Otten A., Elpel D., Ermatschenko N. Klebstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen // Coating. 2007. 40, № 8. P. 28-32.

УДК 674.028.9, 620.179.161

DOI: 10.18324/2077-5415-2017-2-101-105

Определение сплошности клеевого соединения в древесном материале с помощью ультразвука

А.Н. Чубинский^a, Ар.А. Федяев^b, Н. Шумякова^c, Н.Ю. Федяева^d

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, пер. Институтский 5, Санкт-Петербург, Россия

^aa.n.chubinsky@gmail.com, ^bart_fedyayev@mail.ru, ^cnatashashumykova@mail.ru, ^dn_tankovskaya@mail.ru

Статья поступила 9.03.2017, принята 15.04.2017

Работа посвящена вопросам дефектоскопии древесины и древесных материалов. Ультразвуковые технологии находят все большее применение как для обработки древесины, так и для испытания ее свойств и оценки качества. Одним из направлений использования ультразвука является определение пустот — естественных (отверстия от выпавших сучков, трещины) и образованных в процессе склеивания древесных материалов. Для их обнаружения применен амплитудный теневой метод ультразвукового контроля. Выполненные исследования доказали возможность его применения для элементов клееных материалов из древесины. В результате проведенных исследований установлено изменение шумового давления при наличии пустот в древесном материале. С увеличением размера пустоты шумовое давление уменьшается. В процессе исследований выявлено, что при прохождении ультразвука возможно смещение импульса, зависящее от строения древесины, что необходимо учитывать при ультразвуковой диагностике. Установлено влияние плотности древесины на уровень шумового давления, выявлена зависимость смещения ультразвукового импульса от направления волокон древесины. Это смещение относительно постоянно у радиальных пиломатериалов с направлением волокон параллельно пласти (кромке). Выработаны рекомендации по выбору частоты ультразвука, определены уровни шумового давления для трехслойных клееных брусков с различной плотностью, получена зависимость угла смещения прошедшего импульса от угла наклона годичных слоев древесины.

Ключевые слова: клееный брус; ультразвук; сплошность клеевых соединений; дефектоскопия древесины.

Ultrasonic determination of the continuity of the glue layer in wooden material

A.N. Chubinsky^a, Ar.A. Fedyayev^b, N. Shumyakova^c, N.Yu. Fedyayeva^d

St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutskiy Per., St. Petersburg, Russia
^aa.n.chubinsky@gmail.com, ^bart_fedyayev@mail.ru, ^cnatashashumyukova@mail.ru, ^dn_tankovskaya@mail.ru
 Received 9.03.2017, accepted 15.04.2017

The paper is devoted to the problems of defectoscopy of wood and wood materials. Ultrasound technology is increasingly used for wood processing, both for testing its properties and for assessing quality. One of the directions of using ultrasound is the determination of cavity in wood materials as natural (holes from fallen knots, cracks) and formed in the gluing processes of wood materials. For their detection, the amplitude shadow method of ultrasonic testing is applied. The performed studies have proved the possibility of its application for glued materials from wood. As a result of the performed studies, a change in the noise pressure is established in the presence of cavities in the wood material. With increasing cavity size, the noise pressure decreases. In the course of the research it was revealed that when ultrasound passes through the wood, a pulse displacement depending on the structure of the wood is possible, which must be taken into account in ultrasound diagnostics. The effect of wood density on the level of noise pressure is established. The dependence of the displacement of the ultrasonic pulse on the direction of the wood fibers is revealed. This displacement is relatively constant for radial saw-timbers with the direction of the fibers parallel to the plate (edge). As a result, recommendations on the choice of ultrasound frequency are given, noise pressure levels for three-layer glued bars with different density are determined, the dependence of the angle of displacement of the pulse arrived at the transducer on the angle of inclination of annual layers of wood is obtained.

Keywords: glued beams; ultrasound; continuity of glue layer; defectoscopy of wood.

Введение

Одним из распространенных видов брака клееных древесных материалов являются:

- пустоты в клеевом слое (не проклеенные места — локальное отсутствие клея между склеиваемыми поверхностями), возникающее как результат неисправности наносящего клей оборудования;
- дефекты механической обработки поверхности (сколы);
- пустоты от пороков древесины (отверстия от выпавших сучков, трещин);
- пустоты от смоляных кармашков и др.;
- пустоты от нарушения технологии сборки ламелей клееного бруска (рис. 1).



Рис. 1. Пример нарушения технологии сборки ламелей клееного бруска

Контроль сплошности клевого соединения проводят как на производстве клееных древесных материалов, так и при приемке продукции заказчиком (покупателем).

Исследованиям по применению ультразвука в деревообработке посвящено большое количество работ [1–5; 8]. Известно также, что ультразвуковая диагностика широко используется для изучения свойств древесины, выявления внутренних пустот в фанере — древесном материале, склеенном из тонких слоев древесины, неравномерность плотности которых меньше, чем у пиломатериалов, и существенно не влияет на отклонение ультразвукового сигнала [6; 7; 9–13].

Методика работы. Для оценки возможности определения дефектных мест в клееных брусках и брусьях из пиломатериалов хвойных пород древесины использовали амплитудный теневой метод акустического кон-

троля. На рис. 2 приведена принципиальная схема ультразвукового контроля сплошности клевого соединения. В клеевом слое имитировали не проклеенные места, возникающие в результате скола на поверхности древесины при механической обработке, глубиной 0,5 и 1,0 мм (поз. 5, рис. 2).

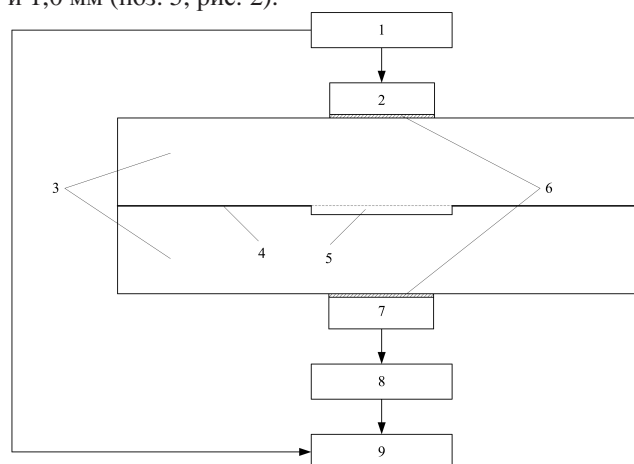


Рис. 2. Принципиальная схема ультразвукового контроля сплошности клевого соединения древесины: 1 — генератор; 2 — излучатель; 3 — склеенные между собой ламели; 4 — клеевое соединение; 5 — не проклеенное место (пустота); 6 — контактный слой; 7 — приемник; 8 — усилитель; 9 — измерительное устройство

При выборе частоты ультразвукового импульса руководствовались принципами, изложенными в работах [6; 8]. Предварительные эксперименты показали, что высокая точность результата может быть получена при частоте 1,25 МГц при исследовании клевого соединения двух ламелей толщиной 26 мм каждая.

Результаты исследований и их анализ. Эксперименты показали (рис. 3), что при наличии пустот в клеевом слое уровень ультразвукового давления снижается, что видно на А-сканах.

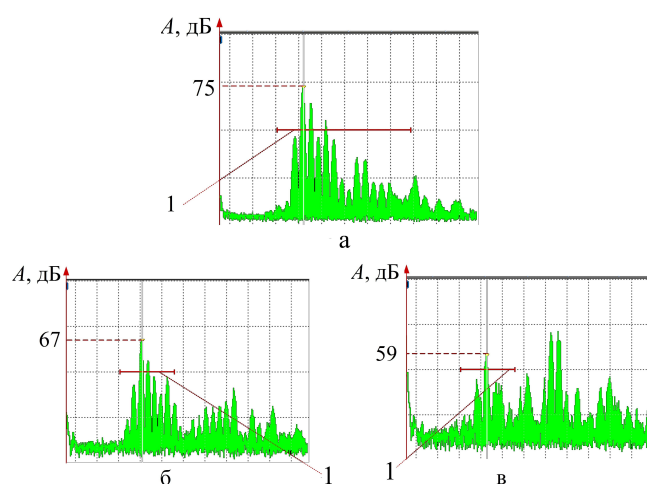


Рис. 3. А-сканы звукового импульса, прошедшего через клееный брусок из древесины плотностью 525 кг/м³: *а* — бездефектная область; *б* — область с наличием пустоты глубиной 0,5 мм; *в* — область с наличием пустоты глубиной 1,0 мм; *1* — строб-импульс

Аналогичный характер падения амплитуды наблюдается и у образцов, склеенных из древесины плотностью 480, 500, 515 кг/м³ (рис. 4, 5 и 6 соответственно).

Установлено, что уровень шумового давления зависит не только от наличия и глубины пустот, но и от плотности древесины. На рис. 7 представлены соответствующие зависимости. Анализ экспериментальных данных позволяет предположить, что при уровне шумового давления ниже 70 дБ возможно наличие дефектного места.

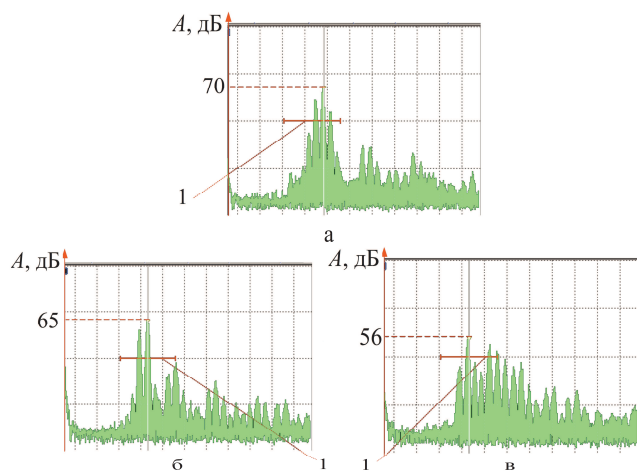


Рис. 4. А-сканы звукового импульса, прошедшего через клееный брусок из древесины плотностью 480 кг/м³: *а* —

бездефектная область; *б* — область с наличием пустот в клеевом соединении глубиной 0,5 мм; *в* — область с наличием пустот в клеевом соединении глубиной 1,0 мм; *1* — строб-импульс

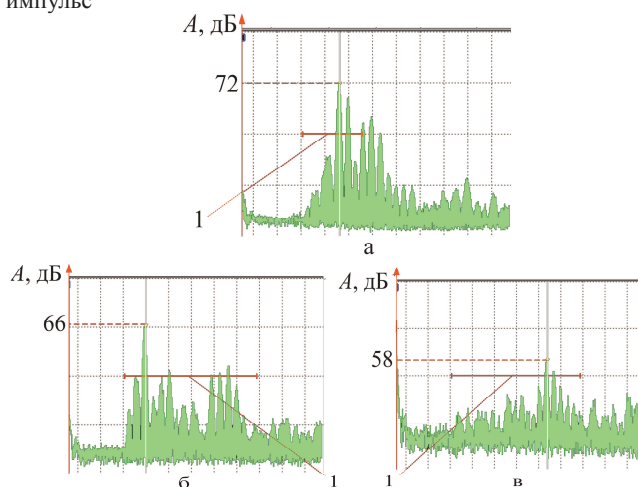


Рис. 5. А-сканы звукового импульса, прошедшего через клееный брусок из древесины плотностью 500 кг/м³: *а* — бездефектная область; *б* — область с наличием пустот в клеевом соединении глубиной 0,5 мм; *в* — область с наличием пустот в клеевом соединении глубиной 1,0 мм; *1* — строб-импульс

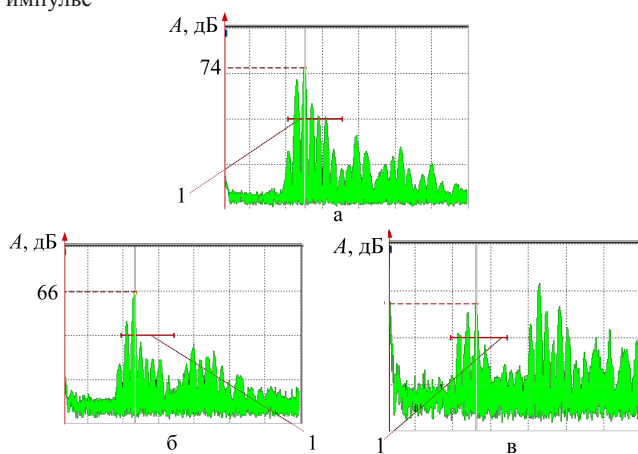


Рис. 6. А-сканы звукового импульса, прошедшего через клееный брусок из древесины плотностью 515 кг/м³: *а* — бездефектная область; *б* — область с наличием пустот в клеевом соединении глубиной 0,5 мм; *в* — область с наличием пустот в клеевом соединении глубиной 1,0 мм; *1* — строб-импульс

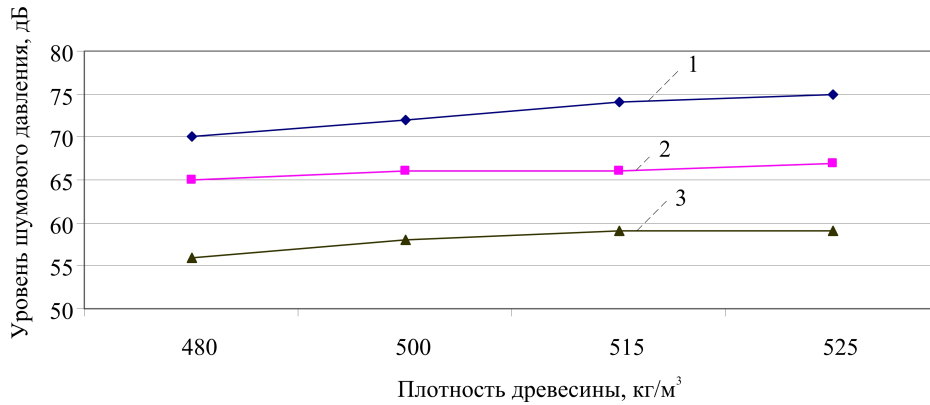


Рис. 7. Влияние плотности древесины и глубины дефектной области на уровень шумового давления: 1 — бездефектная область; 2 — дефектная область глубиной 0,5 мм; 3 — дефектная область глубиной 1,0 мм

В процессе исследований установлено, что при прохождении ультразвукового импульса через образец возможно его смещение, зависящее от строения древесины (рис. 8) и вида пиломатериала (радиальные, полурасиальные, тангенциальные). Ультразвук, встречаясь с более плотной поздней древесиной, изменяет направление перемещения. При направлении волокон древесины параллельно пласти (у радиальных пиломатериалов) это смещение будет постоянным по всей длине доски (рис. 8 а).

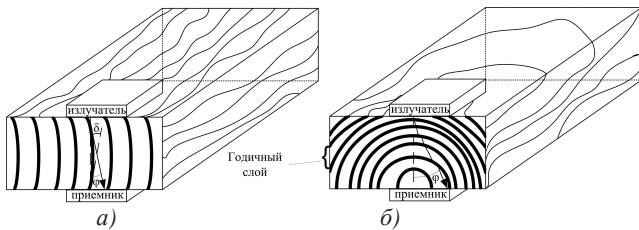


Рис. 8. Схематическое изображение смещения ультразвукового импульса в зависимости от макроструктуры древесины (расположения годичных слоев на поперечном срезе): а — радиальный пиломатериал; б — тангенциальный пиломатериал

Смещение сигнала будет зависеть не только от числа пересекаемых им годичных слоев и угла их наклона по отношению к пласти, но и от наличия в древесине локальных уплотнений (сучков).

В проведенных экспериментах смещение сигнала составило 26 мм ($\varphi = 17,3^\circ$, рис. 8), что сопоставимо с раз-

мерами доски, поэтому ширина приемника ультразвукового сигнала должна быть не менее ширины ламели.

Зависимость угла смещения пришедшего на преобразователь импульса от расположения годичных слоев древесины (рис. 9) может быть описана следующим уравнением:

$$\varphi = 0,328 \cdot \delta + 2,6 \quad (1)$$

где φ — угол смещения сигнала, град; δ — угол наклона годичного слоя, град, $0 \leq \delta \leq 45$.

Изменение смещения импульса по длине доски в зависимости от направления волокон необходимо учитывать в случае, когда величина смещения больше радиуса пьезопластины приемника, поскольку в таком случае высока вероятность потери сигнала и принятия ошибочного решения о наличии дефекта в древесине, через который сигнал не пришел с излучателя на преобразователь.

Увеличение толщины исследуемого объекта может также привести к потере сигнала вследствие неверно выбранных параметров ультразвукового импульса.

Одним из наиболее распространенных клееных продуктов из пиломатериалов является трехслойный оконный брусок толщиной 86 мм. Выполненные исследования показали, что для дефектоскопии брусков такой толщины нужен ультразвук с частотой 0,4 МГц.

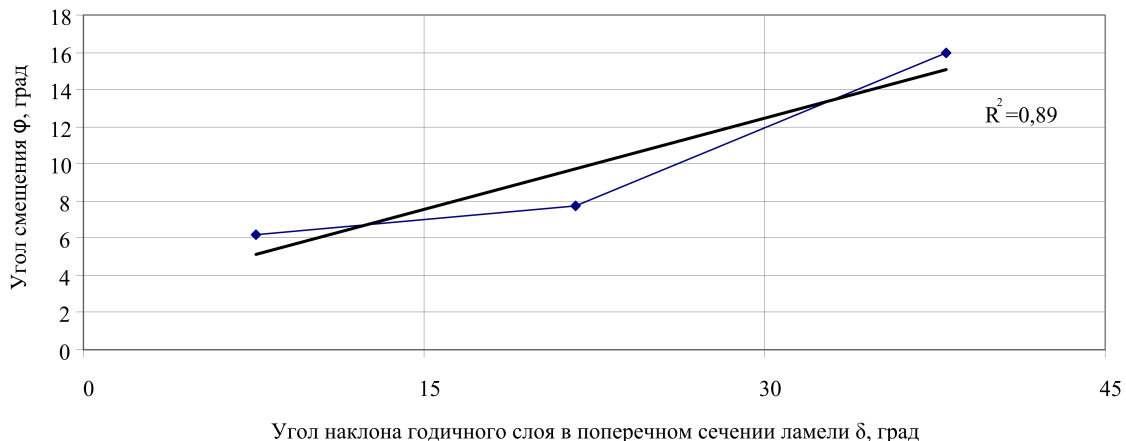
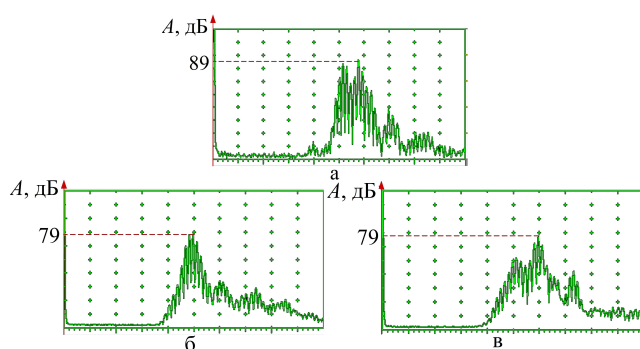


Рис. 9. Зависимость угла смещения пришедшего импульса от угла наклона годовичных слоев в поперечном сечении ламели**Рис. 10.** А-сканы трехслойного оконного бруса толщиной 86 мм: а — плотность древесины 600–650 кг/м³; б, в — плотность древесины 550–600 кг/м³

Выводы

1. Для выявления внутренних дефектных мест (пустот в клееном слое) может быть использован амплитудный теневой метод акустического контроля, в результате которого можно судить о зоне ненадлежащего качества по падению уровня шумового давления.

2. Установлено существенное смещение ультразвукового импульса, проходящего через древесину, вследствие различия плотности ранней и поздней древесины годовичного слоя. Это смещение относительно постоянно у радиальных пиломатериалов с направлением волокон параллельно пласти.

Литература

1. Адиков С.Г., Гордеев В.Ф. Разработка и внедрение новой технологии деревообработки [Электронный ресурс] // Pandia: сайт. URL www.pandia.org. (дата обращения: 11.02.2017).
2. Войкин А. Ультразвуковая обработка древесины [Электронный ресурс] // Лесная индустрия: сайт. URL www.lesindustry.ru (дата обращения: 12.11.2016).
3. Гончаров Н.А. Применение ультразвука в деревообработке. Л.: ЛТА, 1973. 44 с.
4. Гаспарян Г.Д. Методы оценки технических систем для ультразвуковой окорки лесоматериалов // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 1. С. 112-116.
5. Гаспарян Г.Д. Анализ ультразвуковых технологий с целью оценки интродукции в лесопромышленный сектор экономики [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL http://science_education.ru/r/article/view?id=7441. (дата обращения: 12.03.2017).
6. Кармадонов А.Н. Дефектоскопия древесины. М.: Лесная промышленность, 1987. 120 с.
7. Колесникова А.А., Орлова А.А. Испытания клееных деревянных конструкций ультразвуком [Электронный ресурс]: моногр. // Научная электронная библиотека: сайт. URL <https://monographies.ru/ru/book/section?id=3433> (дата обращения: 20.01. 2017).
8. Лакатош Б.К. Дефектоскопия древесины. М.: Лесная промышленность, 1966. 183 с.
9. Салдаева Е.Ю. Идентификация упругих свойств древесины // Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 2625-2629.

10. Sandoz J.L., Benoit Y., Demay L. Wood Testing Using Acousto-Ultrasonic // Proceedings of the 12-th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Sopron, University of Western Hungary, Sopron. 2000. P. 97-104.

11. Темнова Е.Б. Применение ультразвука в определении резонансных свойств древесных поленьев // Успехи современного естествознания. 2009. № 8. С. 8-14.

12. Чубинский А.Н., Федяев А.А., Паврос К.С., Теплякова А.В. Исследование отклонения ультразвукового пучка при прозвучивании древесины // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. № 6. С. 77-82.

13. Чубинский А.Н., Федяев А.А., Паврос К.С., Теплякова А.В. Прогнозирование прочности склеивания строганных пиломатериалов методом ультразвуковой диагностики // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2011. № 7. С.109-115.

References

1. Adikov S.G., Gordeev V.F. Development and introduction of new technology of wood processing. www.pandia.org/text/78/381/214.php.
2. Voyakin A. Ultrasonic processing of wood. Lesnaya industriya, 2014. www.lesindustry.ru/issues/li_n79/ultrazvuko-vaya_obrabotka_drevesini_982.
3. Goncharov N.A. Application of ultrasound in woodworking. L.: LTA, 1973. 44 p.
4. Gasparyan G.D. Techniques to evaluate technological effectiveness of ultrasonic barking // Systems. Methods. Technologies. 2013, № 1. P. 112-116.
5. Gasparyan G.D. Analysis of ultrasonic technologies for the purpose of assessing the introduction into the forestry sector of the economy // Modern problems of science and education. 2012. № 6. http://science_education.ru/ru/article/view?id=7441.
6. Karmadonov A.N. Defectoscopy of wood. M.: Lesnaya promyshlennost', 1987. 120 p.
7. Kolesnikova A.A., Orlova A.A. Testing of glued wooden structures by ultrasound. <https://monographies.ru/ru/book/section?id=3433>.
8. Lakatosh B.K. Defectoscopy of wood. M.: Lesnaya promyshlennost', 1966. 183 p.
9. Saldaeva E.YU. Identification of the elastic properties of wood // Fundamental research. 2013. № 10. P. 2625-2629.
10. Sandoz J.L., Benoit Y, Demay L. Wood Testing Using Acousto-Ultrasonic. Proceedings of the 12-th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Sopron , University of Western Hungary, Sopron. 2000. P. 97-104.
11. Temnova E.B. Application of ultrasound in definition resonant properties of wood of logs // Advances in current natural sciences. 2009. № 8. P. 8-14.
12. Chubinskij A.N., Fedyaev A.A., Pavros K.S., Teplyakova A.V. Investigation of the Deviation of the Ultrasonic Beam Sounding Wood // Izvestiya SPbGETU «LETI». 2012. № 6. P. 77-82.
13. Chubinskij A.N., Fedyaev A.A., Pavros K.S., Teplyakova A.V. Forecasting of the Durability of Saw-Timber for Glued Laminated Beam by Ultrasonic Diagnostics // Izvestiya SPbGETU «LETI». 2011. № 7. P. 109-115.