

ВЫЯВЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ СКРЫТЫХ ДЕФЕКТОВ В КЛЕЕННЫХ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАЗВУКА

Артур Александрович Федяев, Ярослав Ярославович Семенов

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

© Федяев А. А., Семенов Я. Я., 2026

Автор-корреспондент: А. А. Федяев, e-mail: art_fedyayev@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Вследствие нарушения технологических процессов производства клееных деревянных конструкций могут возникать различные скрытые и открытые дефекты, например, такие, как непрочные места в результате неравномерного нанесения клея. При наличии пороков в древесине и в результате неточной механической обработки древесных пород могут возникать трещины, вырывы, сколы, выпадение сучков и прочее. В настоящее время представляется перспективным проведение диагностики несплошности клеевых соединений, которая востребована не только для контроля качества продукции в процессе производства, но и в ходе эксплуатации клееных деревянных конструкций. В работе представлены результаты исследований по определению несплошности (непрочности, наличия внутренних пустот) в клеевом соединении клееных деревянных конструкций. Для определения возможности использования акустических неразрушающих методов контроля было произведено склеивание образцов с различными видами непрочных мест с имитацией внутренних дефектных мест (пустот) толщиной 0,5 и 1,0 мм, при этом толщина склеенных ламелей составила 26 мм. Ультразвуковой дефектоскоп «А 1214 ЭКСПЕРТ» с двумя преобразователями ПЭП 111–2,5–К6 использовался для проведения диагностики. Для поиска дефектов был применен амплитудный теневой метод акустического контроля с частотой 1,25 МГц. Оценка наличия дефектов проведена по значениям уровня шумового давления. Полученные в ходе исследования результаты можно рекомендовать специалистам деревообрабатывающих предприятий, а также научно-исследовательских организаций ВУЗов с целью проведения последующих исследований в области неразрушающих методов контроля и внедрения в производственные циклы ультразвуковой диагностики древесины и древесных материалов.

Ключевые слова: клееные деревянные конструкции, клееный брус, ультразвук, несплошность клеевых соединений, дефекты

Для цитирования: Федяев А. А., Семенов Я. Я. Выявление внутренних скрытых дефектов в клееных древесных материалах на основе ультразвука // Технология и энергетика. 2026. № 1 (1). С. 28–35. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_1_1_28-35

ULTRASONIC DETECTION OF INTERNAL HIDDEN DEFECTS IN GLUED LAMINATED TIMBER

Artur Alexandrovich Fedyayev, Yaroslav Yaroslavovich Semenov

St. Petersburg State Forestry University, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: A. A. Fedyayev, e-mail: art_fedyayev@mail.ru

ABSTRACT

Deviations from the intended manufacturing technology for glued laminated timber may cause defects like unbonded spots due to uneven glue spread, which can be either hidden or visible. Defects such as cracks, tear-outs, chips, and knot dislocation can arise from either natural imperfections in the wood material or inaccuracies in its mechanical processing. Currently, the diagnostics of adhesive bond discontinuities presents significant promise, being critical both for in-process quality assurance and for the in-service structural health monitoring of glulam constructions. This paper presents the results of research on determining discontinuities (unglued areas, internal voids) in adhesive bonds of glued laminated timber structures. To assess the feasibility of using acoustic non-destructive testing methods, samples with various types of unglued areas were manufactured. These samples included simulated internal defects (voids) with thicknesses of 0.5 and 1.0 mm, while the thickness of the bonded lamellae was 26 mm. Diagnostic measurements were



performed using the “A 1214 EXPERT” ultrasonic flaw detector equipped with a pair of piezoelectric transducers, model PEP 111–2.5-K6. For defect detection, the amplitude shadow ultrasonic testing method was employed at a frequency of 1.25 MHz. The assessment of defect presence was conducted based on the noise pressure level values. The findings of this research can be used by specialists in the woodworking industry and by academic researchers to advance studies in non-destructive testing and to facilitate the integration of ultrasonic diagnostics for wood and wood composites into manufacturing processes.

Keywords: glued laminated timber structures, glulam, ultrasound, adhesive bond discontinuity, defects

For citation: Fedyaev A. A., Semenov Ya. Ya. Ultrasonic detection of internal hidden defects in glued laminated timber // Technology and Energy. 2026. Vol. 1, no. 1. Pp. 28–35. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_1_1_28-35

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире развития техники и технологий системы оценки качества сырья и готовой продукции, а также методы их контроля и диагностики все больше пользуются спросом во всех отраслях промышленности. Оценка качества продукции и предметов труда неразрушающими методами контроля является одним из актуальных направлений развития различных отраслей производства. Главные преимущества проведения диагностики неразрушающими методами контроля: возможность применения как к готовой продукции, так и к сырью, и к материалам на ранних стадиях производственного цикла, при этом испытуемый материал может эксплуатироваться с гарантированными характеристиками по качеству.

Назовем основные методы неразрушающего исследования и контроля в области диагностики древесины и материалов на ее основе [1]:

- рентгенография, компьютерная томография дают возможность определения мест с дефектами, в том числе в клееных древесных материалах, определения размеров, формы древесных сортиментов, внутренних скрытых пороков; возможна оценка структуры элементов древесины; толщины клееного слоя материалов из древесины; также позволяют идентифицировать древесные породы по макроструктурным признакам и пр.;
- тепловидение дает возможность провести оценку качества монтажа готовой продукции из древесины, выполнить оценку тепловых свойств готовой конструкции и ее соответствия требованиям, а также находить скрытые дефектные зоны и т. д.;
- акустическая диагностика дает возможность определить плотность древесины, спрогнозировать прочность склеивания цельной древесины, а также дать оценку монолитности клееного слоя и однородности материалов из древесины и на ее основе.

Из представленных выше неразрушающих методов контроля наиболее безопасными являются

акустические. Их главные преимущества: относительно невысокая стоимость, возможность получения и обработки результатов в режиме реального времени, проведения корректировки технологии изготовления и пр. Главные недостатки этих методов заключаются в необходимости учета особенностей ультразвуковой диагностики древесины, связанных с возможным отклонением ультразвукового пучка в зависимости от направления годовичных слоёв [2]; необходимости подбора частоты в зависимости от породы древесины и ее размерных характеристик; недостаточной изученности степени влияния различных пороков и дефектов древесины на результат ультразвуковой диагностики, — то есть в высокой вероятности получения данных, выходящих за пределы известного ультразвукового «видения» древесины.

Методы акустического неразрушающего контроля: ультразвуковые (с частотой колебания от 20 кГц и выше); методы, которые основаны на использовании колебаний звуковой частоты (с частотой до 20 кГц); инфразвуковые (с частотой до 20 Гц). Применительно к деревообрабатывающей отрасли наибольший интерес представляет использование ультразвуковой дефектоскопии. На основании анализа колебания волн (амплитуды, формы, времени прихода и т. д.) с использованием ультразвуковых колебаний можно определять наличие мест с дефектами в древесных материалах. Излучает звуковые волны резонатор, который далее преобразует электрические колебания в акустические. Отраженные сигналы регистрируются измерительными цепями. Звуковые волны, не изменяющие своей траектории движения, говорят об однородной структуре древесного материала, а также о том, что мест с дефектами нет. Если присутствует акустическое сопротивление в древесном материале, то звуковая волна будет изменять траекторию движения и, отражаясь, будет возвращаться к приемнику, — такой характер движения звуковой волны будет свидетельствовать о наличии дефекта в древесном материале [3, 4].

Выполненные исследования по адаптации ультразвуковых технологий при обследовании древесины



и материалов на ее основе позволили установить зависимость между параметрами скорости ультразвука и динамического модуля ее упругости [5]–[10]. Выполнили также оценку параметров скорости ультразвукового сигнала с механическими свойствами древесины [11]. Стоит отметить, что на результат исследования влияют следующие показатели: порода и влажность древесины, пороки и дефекты обработки материала, частота и тип преобразователей. Одним из основных недостатков при этом является использование малой частоты ультразвуковых колебаний (до 250 кГц), что значительно увеличивает шаг длины волны, и, как следствие, она с большей вероятностью огибает отдельные элементы строения древесины, искажая при этом получаемый результат.

Результаты выполненных ранее исследований в направлении изучения возможностей применения ультразвуковой диагностики [3–4, 12–15], а также результаты анализа, проведенного в этом исследовании, позволяют производить диагностику пиломатериалов на основе временно-теневого метода. Этот метод заключается в сквозном прохождении сигнала через объект с фиксацией времени его прохода.

В последнее время все более активно выполняются исследования возможности применения велосимметрического метода акустического контроля готовой продукции из древесины и материалов на ее основе. Необходимо отметить, что метод работает при небольшой толщине древесных материалов, когда вероятный дефект огибается ультразвуковой волной. Также возникают некоторые сомнения в применимости метода для достоверного определения параметров в текущих условиях. Например, при попытке использования частоты 60 кГц длина волны составляет порядка 23 мм. При такой длине волны возможен поиск дефектов только значительного раскрытия и значительного размера.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проанализировав ряд литературных источников, а также основываясь на результатах собственных исследований, мы установили, что наиболее высокая точность определения скрытых дефектов в клееном древесном материале может быть достигнута с применением амплитудного теневого метода акустического контроля. Выбор частоты ультразвукового импульса 1,25 МГц производился с учетом рекомендаций, которые представлены в работах [3, 4], при этом толщина склеенных ламелей составила 26 мм для каждой. Для проведения эксперимента в клееном слое были имитированы пустоты толщиной 0,5 мм и 1,0 мм, которые могли образоваться как вследствие механической обработки, так и в результате наличия трещин или

Выполненные ранее исследования позволили выявить, что при использовании теневого метода акустического контроля имеется возможность определять плотность древесины в зависимости от скорости прохождения ультразвука [14], а также с использованием амплитудно-теневого метода идентифицировать наличие пустот в клееном слое в клееных деревянных конструкциях в зависимости от уровня шумового давления [15].

Наличие особенностей при ультразвуковой диагностике древесины, с одной стороны, усложняет этот процесс, а с другой стороны, расширяет его возможности за счет анализа получаемых сведений, адаптации их к условиям технологических процессов производства. Одной из положительных сторон ультразвуковой диагностики является смещение сигнала, которое дает возможность определения в поточном производстве направления волокон пиломатериалов.

В клееных материалах из древесины могут присутствовать следующие разновидности дефектных мест:

- непроклеенные участки материала (образуются в результате отсутствия клеевого состава в ламелях вследствие нарушения технологии нанесения клеевого состава, неисправности клеенонасящего оборудования и пр.);
- сколы или вырывы в древесине (побочный эффект механической обработки древесного материала перед процессом склеивания);
- пустоты (пороки, которые присущи древесине, — например, наличие трещин, выпавшие сучки, смоляные кармашки и пр.).

других видов пороков и дефектов, которые присущи древесине.

Для проведения диагностики использовался ультразвуковой дефектоскоп «А 1214 ЭКСПЕРТ» с двумя преобразователями ПЭП 111–2,5-К6. С целью повышения достоверности получаемых результатов исследования использовали контактный слой (может быть представлен в виде жидкости или датчиков с силиконовыми контактными элементами).

При движении по заготовке по длине объекта контроля амплитуда сигнала имеет значение, находящееся в диапазоне $A_{\min} \div A_{\max}$, такой разброс в значении амплитуды сигнала может быть обусловлен различной плотностью,



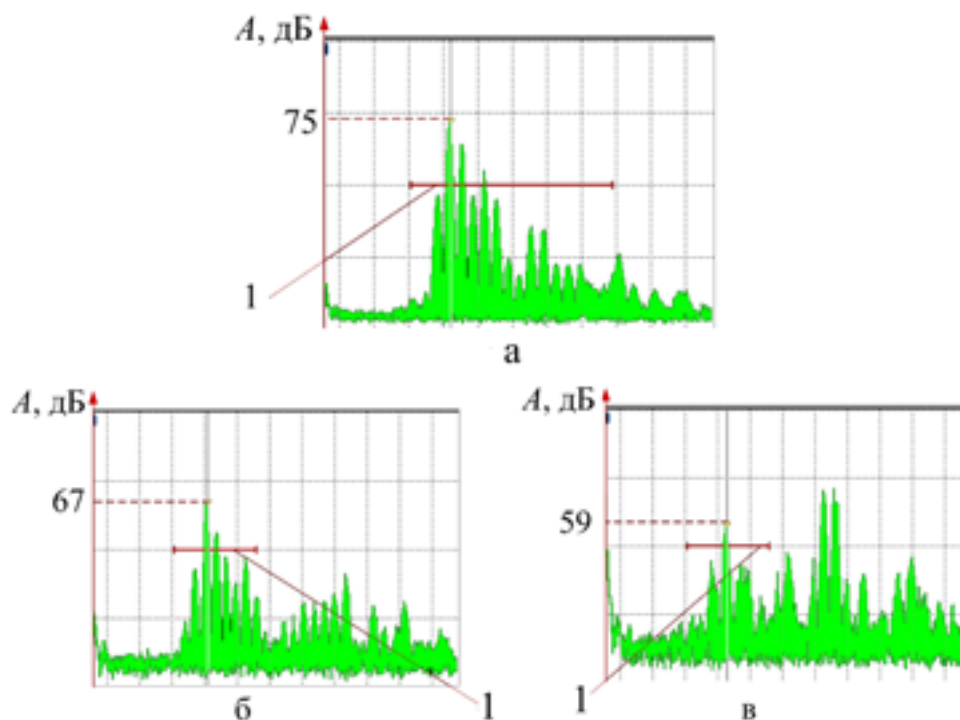


Рисунок 1. А-сканы звукового импульса при плотности древесины клееного бруска 525 кг/м³: а – зона древесины без наличия каких-либо дефектов; б – дефектная область с пустотой, толщиной 0,5 мм; в – дефектная область с пустотой, толщиной 1,0 мм; 1 – строб-импульс

Figure 1. A-scans of the acoustic pulse for wood density of 525 kg/m³ in a glulam sample: а – wood zone without any defects; б – defective area with a 0.5 mm thick void; в – defective area with a 1.0 mm thick void; 1 – gate pulse

условиями контакта с поверхностью и т. д., а также при попадании сигнала в зону, где имеется несплошное клеевое соединение, можно наблюдать ослабление звукового давления и снижение его до значений, сильно отличающихся от основного диапазона, которые свидетельствуют о наличии зоны непроклеенного места, а также о возможных других дефектах, которые могут быть обусловлены наличием смоленных кармашков в древесине, трещин, сколов и вырывов при механической обработке.

На основании методики, представленной в работе [16], проводили обработку экспериментальных данных с определением доверительного интервала и необходимого количества наблюдений с учетом критерия Стьюдента, с проверкой однородности дисперсий по критерию Кохрена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлены А-сканы звукового импульса, согласно которым можно говорить о наличии внутренних дефектов, на которые указывают ослабление уровня шумового давления и изменение характера

движения сигнала. Уровень шумового давления зависит и от плотности древесного материала даже при изменении в относительно небольших диапазонах, как представлено на рисунках 1–4, поэтому необходимо учитывать этот параметр при проведении ультразвуковой диагностики даже в рамках одной породы древесины. Полученные экспериментальным путем зависимости влияния плотности древесины и наличия или отсутствия внутренних дефектов на уровень шумового давления представлены на рисунке 5.

При снижении уровня шумового давления ниже 70 дБ можно говорить о наличии внутренних дефектных мест в клееном древесном материале.

Любое изменение в показателях исследуемого объекта, например, толщина клееного древесного материала, количество слоев и прочее, может привести к потере ультразвукового сигнала, из-за возможного его смещения [17]. Стоит также отметить и то, что на потерю ультразвукового сигнала будет влиять и неправильно подобранные параметры импульса, именно этот момент представляет больший интерес в проведении последующих экспериментов и исследований.

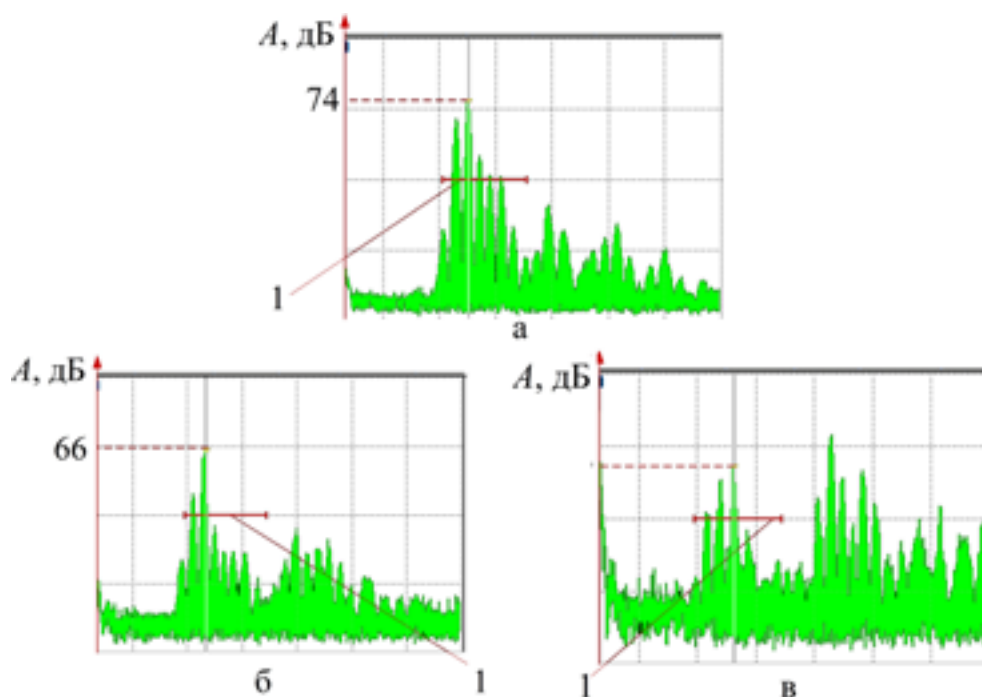


Рисунок 2. А-сканы звукового импульса при плотности древесины клееного бруска 515 кг/м³: а – зона древесины без дефектов; б – дефектная область с пустотой толщиной 0,5 мм; в – дефектная область с пустотой толщиной 1,0 мм; 1 – строб-импульс

Figure 2. A-scans of the acoustic pulse for wood density of a 515 kg/m³ in a glulam sample: а – wood zone without any defects; б – defective area with a 0.5 mm thick void; в – defective area with a 1.0 mm thick void; 1 – gate pulse

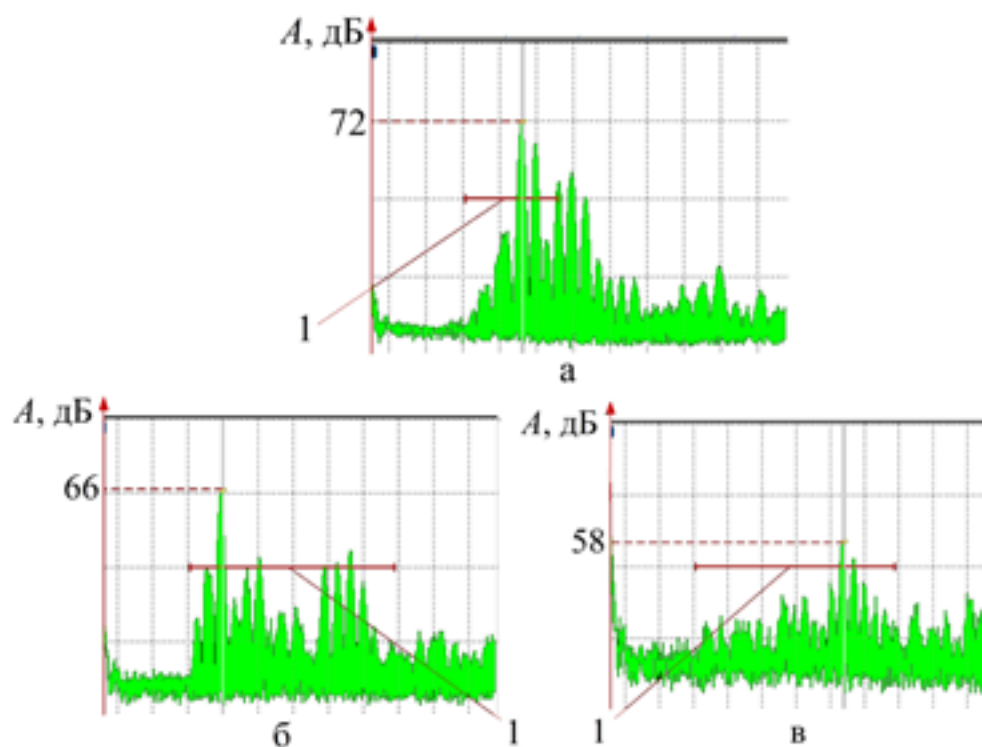


Рисунок 3. А-сканы звукового импульса при плотности древесины клееного бруска 500 кг/м³: а – зона древесины без дефектов; б – дефектная область с пустотой толщиной 0,5 мм; в – дефектная область с пустотой толщиной 1,0 мм; 1 – строб-импульс

Figure 3. A-scans of the acoustic pulse for wood density of 500 kg/m³ in a glulam sample: а – wood zone without any defects; б – defective area with a 0.5 mm thick void; в – defective area with a 1.0 mm thick void; 1 – gate pulse

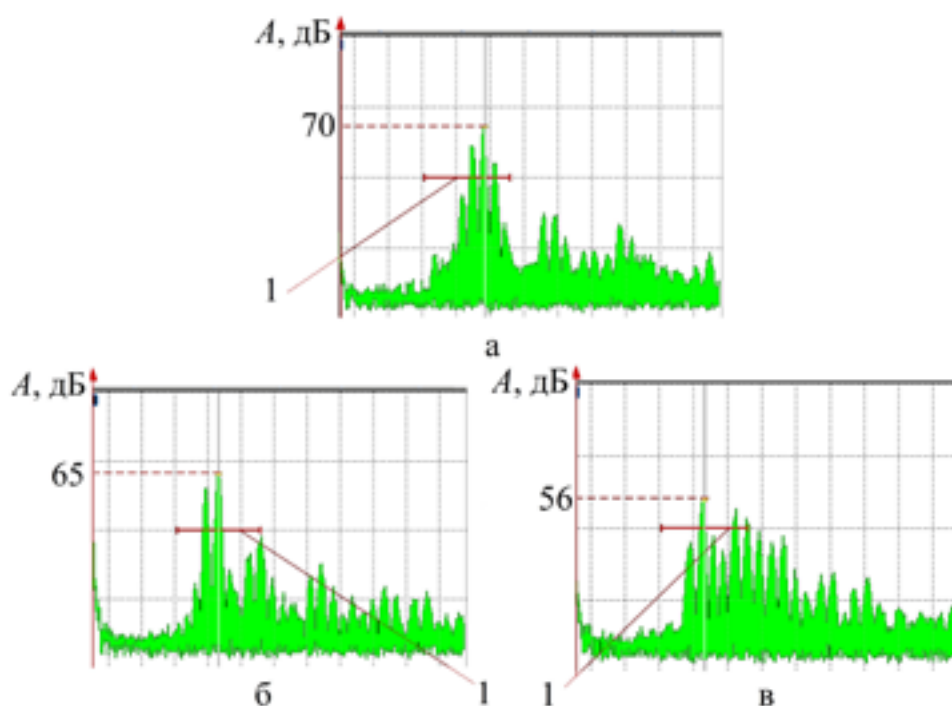


Рисунок 4. А-сканы звукового импульса при плотности древесины клееного бруска 480 кг/м³: а – зона древесины без дефектов; б – дефектная область с пустотой толщиной 0,5 мм; в – дефектная область с пустотой толщиной 1,0 мм; 1 – строб-импульс

Figure 4. A-scans of the acoustic pulse for wood density of 480 kg/m³ in a glulam sample: а – wood zone without any defects; б – defective area with a 0.5 mm thick void; в – defective area with a 1.0 mm thick void; 1 – gate pulse

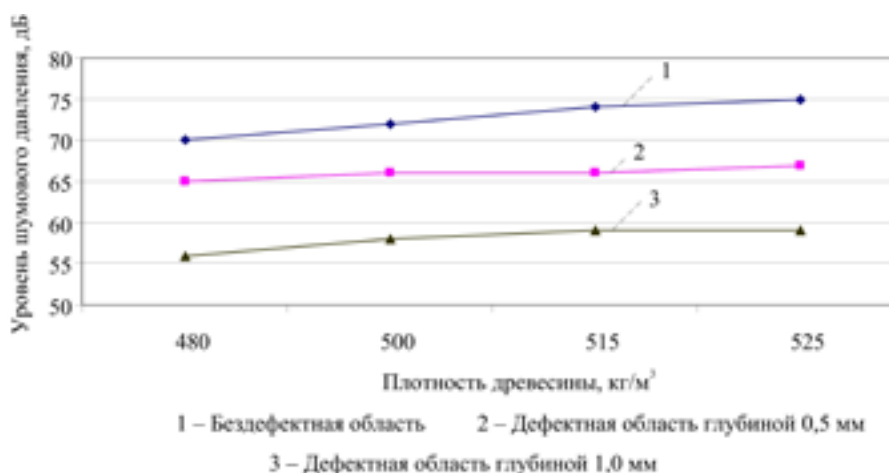


Рисунок 5. Влияние плотности древесины и толщины дефекта на уровень шумового давления

Figure 5. The influence of wood density and defect thickness on noise pressure level

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно проведенному исследованию, можно сказать, что амплитудный теневой метод ультразвуковой диагностики позволяет идентифицировать наличие внутренних пороков и дефектов древесных материалов, таких, как трещины, сколы, вырывы и другие. Для оценки падения уровня шумового давления также следует учитывать такой показатель, как плотность древесины в клееном материале.

Список литературы

1. Чубинский А. Н., Тамби А. А., Теплов А. В., Ананьева Н. И., Семичур С. О., Бахшиева М. А. Физические неразрушающие методы испытания и оценка структуры древесных материалов. Дефектоскопия. Екатеринбург, 2014. С. 76–84.
2. Чубинский А. Н., Федяев А. А., Павлов К. С., Теплякова А. В., Лозак А. А. Исследование отклонения ультразвукового

- пучка при прозвучивании древесины. // Известия СПб-ГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. № 6. С. 77–82.
3. Кармадонов А. Н. Дефектоскопия древесины. М.: Лесная промышленность, 1987. 120 с.
 4. Лакатош Б. К. Дефектоскопия древесины. М.: Лесная промышленность, 1966. 183 с.
 5. Бобылева Ю. Н., Давыдов С. Л., Зарецкий-Феоктистов Г. Г. К вопросу об определении упругих параметров древесины ультразвуковым методом. // Лесной журнал. (Изв. вузов). 1978. № 3. С. 156–159.
 6. Колесникова А. А. Исследование свойств древесины по кернам. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2002. 178 с.
 7. Bucur V. Acoustics of wood. Berlin, Springer, 2006. 393 p.
 8. Arriaga F., Osuna-Sequera C., Bobadilla I. et al. Prediction of the mechanical properties of timber members in existing structures using the dynamic modulus of elasticity and visual grading parameters. Construction and Building Materials, 2022, vol. 322, art. 126512. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126512>.
 9. Vázquez C., Gonçalves R., Bertoldo C. et. al. Determination of the mechanical properties of Castanea sativa Mill. using ultrasonic wave propagation and comparison with static compression and bending methods. Wood Science and Technology, 2015. vol. 49. Pp. 607–622. DOI:10.1007/s00226-015-0719-7.
 10. Wang S.-Y., Lin C.-J., Chiu C.-M. The adjusted dynamic modulus of elasticity above the fiber saturation point in Taiwania plantation wood by ultrasonic-wave measurement. Holzfor-schung, 2003, vol. 57, pp. 547–552. <https://doi.org/10.1515/HF.2003.081>.
 11. Tippner J., Hrivnák J., Kloiber M. Experimental evaluation of mechanical properties of softwood using acoustic methods. BioResources, 2016, vol. 11, no. 1, pp. 503–518. DOI: 10.15376/biores.11.1.503–518.
 12. Ланге Ю. В., Ермолов И. Е. Неразрушающий контроль: справочник. В 7 т. Т. 3. Ультразвуковой контроль / Под общей редакцией В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 2004. 864 с.
 13. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. 4-е изд. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.
 14. Чубинский А. Н., Федяев А. А., Паврос К. С., Теплякова А. В. Прогнозирование прочности склеивания строганных пиломатериалов методом ультразвуковой диагностики. Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. № 7. С. 109–115.
 15. Чубинский А. Н., Федяев А. А., Шумякова Н., Федяева Н. Ю. Определение сплошности клеевого соединения в древесном материале с помощью ультразвука. // Системы. Методы. Технологии. 2017. БрГУ. № 2 (34). С. 101–105.
 16. Пижурин А. А., Роземблит М. С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесная промышленность, 1984. 232 с.
 17. Федяев А. А., Чубинский А. Н. Неразрушающие методы контроля свойств продукции из древесины. СПб.: ГА-ЛАНИКА, 2022. 118 с.

References

1. Chubinsky A. N., Tambi A. A., Teppoev A. V., Ananyeva N. I., Semishkur S. O., Bakhshieva M. A. Physical non-destructive testing methods and evaluation of wood material structure. Flaw detection. Yekaterinburg. 2014, pp. 76–84.
2. Chubinsky A. N., Fedyaev A. A., Pavros K. S., Teplyakova A. V., Lozak A. A. Study of ultrasonic beam deviation during wood sounding. Izvestiya of ETU “LETI”. 2012. No. 6. Pp. 77–82.
3. Karmadonov A. N. Wood flaw detection. M.: Lesnaya Promyshlennost, 1987. 120 p.
4. Lakatos B. K. Wood flaw detection. Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 1966. 183 p.
5. Bobyleva Yu. N., Davydov S. L., Zaretsky-Feoktistov G. G. On the issue of determining the elastic parameters of wood by the ultrasonic method. // News of universities. Forestry journal. 1978. No. 3. Pp. 156–159.
6. Kolesnikova A. A. Study of wood properties using cores: Scientific publication. Yoshkar-Ola: Mari State Technical University, 2002. 178 p.
7. Bucur V. Acoustics of wood. Berlin, Springer, 2006. 393 p.
8. Arriaga F., Osuna-Sequera C., Bobadilla I. et al. Prediction of the mechanical properties of timber members in existing structures using the dynamic modulus of elasticity and visual grading parameters. Construction and Building Materials, 2022, vol. 322, art. 126512. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126512>.
9. Vázquez C., Gonçalves R., Bertoldo C. et. al. Determination of the mechanical properties of Castanea sativa Mill. using ultrasonic wave propagation and comparison with static compression and bending methods. Wood Science and Technology, 2015. vol. 49. pp. 607–622. DOI:10.1007/s00226-015-0719-7.
10. Wang S.-Y., Lin C.-J., Chiu C.-M. The adjusted dynamic modulus of elasticity above the fiber saturation point in Taiwania plantation wood by ultrasonic-wave measurement. Holzfor-schung, 2003, vol. 57, pp. 547–552. <https://doi.org/10.1515/HF.2003.081>.
11. Tippner J., Hrivnák J., Kloiber M. Experimental evaluation of mechanical properties of softwood using acoustic methods. BioResources, 2016, vol. 11, no. 1, pp. 503–518. DOI: 10.15376/biores.11.1.503–518.
12. Ermolov I. E., Lange Yu. V. Non-destructive testing: Handbook in 7 volumes. Volume 3. Ultrasonic testing. Under the general editorship of V. V. Klyuev. M.: Mechanical Engineering, 2004. 864 p.
13. Ugolev B. N. Wood science with the basics of forest commodity science. 4th ed. M.: MGUL, 2007. 351 p.
14. Chubinsky A. N., Fedyaev A. A., Pavros K. S., Teplyakova A. V. Predicting the gluing strength of planed lumber using ultrasonic diagnostics. Bulletin of ETU “LETI”. 2011. No. 7, pp. 109–115.
15. Chubinsky A. N., Fedyaev A. A., Shumyakova N., Fedyaeva N. Yu. Determination of the continuity of the adhesive



- joint in wood material using ultrasound. Systems. Methods. Technologies. 2017. BrSU. Vol. 34, no. 2 (34), pp. 101–105.
16. Pizhurin A. A., Rozemblit M. S. Research of woodworking processes. M.: Lesn. promyshlennost, 1984. 232 p.
 17. Fedyaev A. A., Chubinsky A. N. Non-destructive methods of testing the properties of wood products. St. Petersburg: GALANIKA, 2022. 118 p.

■ Информация об авторах

Федяев Артур Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С. М. Кирова, 194021, Институтский переулок, д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия; ORCID ID: 0000-0001-8036-7432; SPIN-код: 8169–9209; e-mail: art_fedyaev@mail.ru.

■ Information about the authors

Fedyaev Artur Alexandrovich, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Technology of Materials, Structures and Wooden Structures of the St. Petersburg State Forest Engineering University named after S. M. Kirov; 194021, Institutskii per., 5, Bldg. U, Saint Petersburg, Russia; ORCID ID: 0000-0001-8036-7432; SPIN-code: 8169–9209; e-mail: art_fedyaev@mail.ru.

Семенов Ярослав Ярославович, студент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С. М. Кирова, 194021, Институтский переулок, д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия.

Semenov Yaroslav Yaroslavovich, student of the St. Petersburg State Forest Engineering University named after S. M. Kirov; 194021, Institutskii per., 5, Bldg. U, Saint Petersburg, Russia.