

**А.А. Федяев, А.В. Теплякова, Е.В. Откидычева, А.Д. Соловьева,
О.В. Юркова, А.Н. Чубинский**

ВЛИЯНИЕ СУЧКОВ НА ПРОХОЖДЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В ДРЕВЕСИНЕ

Введение. Одним из направлений повышения качества продукции из древесины является внедрение неразрушающих методов контроля на основных этапах переработки сырья. В настоящее время оценку пиловочных бревен и пиломатериалов до и после сушки проводят в основном визуальным способом. Такой контроль основывается преимущественно на рекомендациях ГОСТ или внутренних документах. На практике визуальная оценка не всегда дает возможность оценить реальное назначение материалов с обеспечением требуемых характеристик в процессе их эксплуатации. При диагностике характеристик древесины разрушающими методами контроля можно судить только о свойствах некоторой выборки испытанных образцов. Перспективными в вопросе оценки свойств, состояния и внутреннего строения древесины являются неразрушающие методы контроля.

Для диагностики скрытых дефектных зон при сортировке бревен на предприятии, оценки состояния сырья и определения его сорта применяют компьютерную томографию. При помощи томографии появляется возможность не только идентифицировать особенности внутреннего строения, но и сформировать поставки пил, обеспечивающие максимальный объемный выход пиломатериалов с минимальным наличием дефектов или пороков. При этом прямо определяют: размеры и форму сортиментов; вид, форму, размеры и местоположение основных пороков сырых сортиментов; размеры ядра и заболони; размеры и форму годичного слоя и его составных частей и т. п. Однако определение плотности древесины, оказывающей решающее влияние на дальнейшее функциональное назначение пиломатериалов, при помощи томографии возможно только косвенно, причём для сырых пиломатериалов.

В дальнейшем при сушке пиломатериалов в зависимости от объема камеры, её наполнения, соблюдения требований по укладке, скорости движения агента сушки, равномерности распределения потоков воздуха, различной плотности и влажности древесины и иных факторов могут появляться видимые дефекты, такие как коробление, растрескивание и т. п., а также скрытые зоны с микротрещинами. Образованию микротрещин и их развитию предшествуют неравномерные деформации древесины от усушки. Такие

деформации характерны для зоны у сучков, характеризующейся различной плотностью, а также непосредственно в самих сучках (в том числе и здоровых сросшихся). Одними из возможных методов для проведения подобной диагностики являются акустические.

Акустические методы диагностики в деревообработке активно применяются с середины XX века. Особый интерес к изучению возможности этих методов для оценки качества древесины и древесных материалов наблюдается в последние 20 лет, что, безусловно, связано с развитием и совершенствованием как самих методов, так и средств контроля. Акустические исследования делят на ультразвуковые, с частотой от 20 кГц и выше, а также методы, основанные на использовании колебаний звуковой (до 20 кГц) и инфразвуковой (до 20 Гц) частот. При этом, с точки зрения возможности использования для идентификации дефектных зон, наибольшее развитие получила ультразвуковая диагностика.

В различное время исследования в деревообработке были направлены на: установление зависимости между скоростью ультразвука и динамическим модулем упругости древесины [Бобылева и др., 1978; Колесникова, 2002; Wang et al., 2003; Bucur, 2006; Baar et al., 2015; Vázquez et al., 2015; Arriaga et al., 2022]; оценку связи параметров ультразвука с механическими свойствами древесины [Чубинский и др., 2011; Tippner et al., 2016]; адаптации ультразвуковой диагностики в производстве пиломатериалов [Лакатош, 1966; Кармадонов, 1987; Уголев, 2007].

Полученные результаты позволили установить, что основными факторами, влияющими на результаты прохождения ультразвука в древесине, являются её порода и влажность, пороки и дефекты обработки, тип и частота преобразователей и др. Установлено, что применение малых частот ультразвука (до 250 кГц) нерационально, так как искажает получаемый результат за счет увеличения длины волны и, как следствие, «огибания» ряда отдельных элементов строения древесины. При этом наличие недостатков или особенностей ультразвуковой диагностики древесины может расширить применение акустических методов контроля в деревообработке. Наличие пороков или дефектов в древесине снижает качество сигнала и требует дополнительного его усиления. Наличие мест ненадлежащего качества в древесине можно оценивать по выходу значений сигнала из границ нормальных значений в бездефектных зонах.

Определению наличия пороков строения в каком-либо сорimente из древесины также посвящено большое число исследований [Ермолов, Ланге, 2004; Чубинский и др., 2014, 2015, 2017], результаты которых доказали возможность такой оценки на основе теневоего метода ультразвукового контроля. Также следует отметить, что в наших ранних исследованиях

применение теневых методов контроля позволило определять плотность древесины в зависимости от скорости прохождения ультразвука, прогнозировать на основе плотности древесины прочность клеевых соединений цельной древесины [Чубинский и др., 2011], оценивать направление волокон древесины [Федяев, 2025], идентифицировать несклеенные места (пустоты) в клеевом слое клееного бруса [Чубинский и др., 2017].

Известно, что к качеству пиломатериалов для изготовления ответственных несущих деревянных конструкций предъявляют повышенные требования. Для отбора таких досок целесообразно сочетание компьютерной томографии и ультразвукового исследования для углубленной оценки состояния сучков и околосучковой зоны. Последнее явилось предметом исследований, рассмотренных в настоящей статье.

Методика исследований. В рамках исследований были проведены измерения отклонения фронта ультразвуковых волн в древесине. При проведении эксперимента был выбран ультразвуковой теневой метод контроля с использованием дефектоскопа «А 1214 ЭКСПЕРТ» с 2 преобразователями ПЭП 111-2,5-К6. Выбор частоты был основан на исследованиях, проведенных ранее различными авторами [Лакатош, 1966; Полубояринов, 1976; Артемов, Паврос, 1981; Добротин, Паврос, 1986, 1999; Кармадонов, 1987; Голубев, Паврос, 1989; Ермолов, Ланге, 2004; Уголев, 2007], собственных исследованиях [Чубинский и др. 2011, 2012], при которых высокая точность результата измерений была достигнута при частоте 2,5 МГц [Чубинский и др., 2011].

На приемник поступает несколько сигналов, в том числе ослабленных, прошедших не по кратчайшему расстоянию, отклоненных из-за различных дефектов или особенностей строения и т. д. В процессе исследований определяли время прохождения сигнала через древесину с максимальной амплитудой. При измерении излучатель фиксировался в одном положении. Перемещением приемника определяли место на другой стороне образца с наиболее высокой амплитудой сигнала при помощи А-скана на экране дефектоскопа. После получения максимального прошедшего сигнала положение обоих датчиков фиксировали для последующего определения углов отклонения фронта волны. Так же измерялась амплитуда прошедшей волны для оценки затухания ультразвука. В зоне измерений определяли усредненный угол наклона волокон к кромке пиломатериала.

В рамках исследований был применен контактный слой из густой консистентной смазки. Следует уточнить, что в поточном производстве возможно применение датчиков с силиконовыми контактными элементами для обеспечения акустического контакта между ними и пиломатериалом.

Результаты экспериментов были обработаны по методике, представленной в [Чубинский, 2024]. Обоснование количества наблюдений проводилось

с учетом критерия Стьюдента, проверка однородности дисперсий была реализована с учетом критерия Кохрена. Методическая сетка проведения эксперимента представлена в табл. 1.

Таблица 1

Методическая сетка проведения эксперимента по исследованию влияния сучков на прохождение ультразвука в древесине

Methodological grid for conducting an experiment to study the influence of knots on the passage of ultrasound in wood

Задача исследования	Постоянные факторы		Критерий оценки	Переменные факторы		Общее количество наблюдений			
	Наименование	Значение		Наименование	Значение	Количество опытов	Количество повторений опытов	Количество наблюдений в одном опыте	Общее количество наблюдений
Установить влияние сучков на прохождение ультразвука в древесине	1. Влажность древесины, %	12 ± 2	Усиление амплитуды ультразвукового сигнала, дБ	Сросшиеся здоровые		28	3	4-6	420
	2. Плотность древесины, кг/м^3	505 ± 25							
	3. Шероховатость поверхности, мкм	24 ± 8							
	4. Порода древесины	Сосна							
	5. Частота, МГц	2,5		Частично сросшиеся и несросшиеся		35	3	4-6	525
	6. Влажность окружающей среды, %	65							
	7. Температура окружающей среды, °C	20 ± 2							
	8. Номинальная толщина ламелей, мм	26,5		Загнившие, гнилые и табачные		20	3	4-6	300

Результаты исследований. Фотографии некоторых образцов, схемы расположения и установки датчиков представлены на рис. 1 – 3. Схема установки датчика в точке 5 на рис. 2 не представлена, так как установка датчика соосно расположению сучка и не требует детализовки, при этом амплитуда сигнала в этой точке равна 69 дБ.

Из представленных рисунков видно, что в бездефектных зонах (рис. 1, точки 3 и 4; рис. 2, точки 3 и 6; рис. 3, точки 1 и 6) величина усиления

амплитуды сигнала находится примерно в одном диапазоне, от 55 до 70 дБ. Разница в усилении сигнала в этом диапазоне может быть объяснена особенностью строения древесины: различной плотностью, размерами и особенностью строения клеток, величиной зон ранней и поздней древесины и т. п. Следует отметить, что на всех исследованных образцах уровень усиления сигнала в бездефектных зонах находился в указанных пределах.

В ходе исследований были предприняты попытки идентифицировать пороки и дефекты на основе анализа ультразвуковых волн: амплитуды, формы, времени прихода и т. д. При этом об однородности структуры материала, отсутствии каких-либо дефектных зон можно говорить при отсутствии аномального изменения траектории движения звуковых волн. Сама по себе древесина является анизотропным материалом с неравномерными свойствами. При дефектоскопии с применением ультразвуковых методов контроля следует установить понимание однородной структуры, а именно первоначальную оценку образцов древесины с отсутствием любых пороков и дефектов.

Основным видами дефектов и пороков материалов из цельной древесины являются: сучки, трещины, смоляные кармашки, вырывы, сколы и т. п. Наиболее распространенными пороками древесины, снижающими качество пиломатериалов, а также в значительной степени их различные функциональные назначения, являются, в первую очередь, сучки.

При прохождении ультразвука через зону сучка с трещинами (рис. 1, точка 2) требуется большее усиление сигнала (до 105 дБ), что обусловлено наличием пустот значительного размера (трещин) и необходимостью преодоления этого дефекта ультразвуком.

Исходя из фото образца (рис. 1, I), без учета трещины в зоне 2, представленный порок можно отнести к здоровому сросшемуся сучку, особенно при визуальной оценке зоны 1. С учетом такой оценки зоны 1, учитывая, что плотность сучка выше плотности древесины в зонах 4 и 3, усиление амплитуды сигнала должно быть либо ниже, чем в бездефектной зоне, либо в том же диапазоне. Однако усиление амплитуды сигнала составляет 103 дБ, что практически идентично зоне 2. Такая аналогия может свидетельствовать о наличии скрытых трещин значительного размера внутри сучка области зоны 1, как и видимых трещин в зоне 2. На рис. 2 в зоне 5 сучка амплитуда усиления сигнала составляет 69 дБ, на рис. 3 в точке 3 – 9 дБ. Такой уровень амплитуды усиления сигнала свидетельствует об отсутствии дефектных зон, равномерно распределенной плотности материала. При этом в случае с рис. 2, точка 5, можно сделать вывод, что представленный сучок является здоровым сросшимся. Ультразвук в пиломатериалах при отсутствии дефектов не требует дополнительного усиления сигнала.

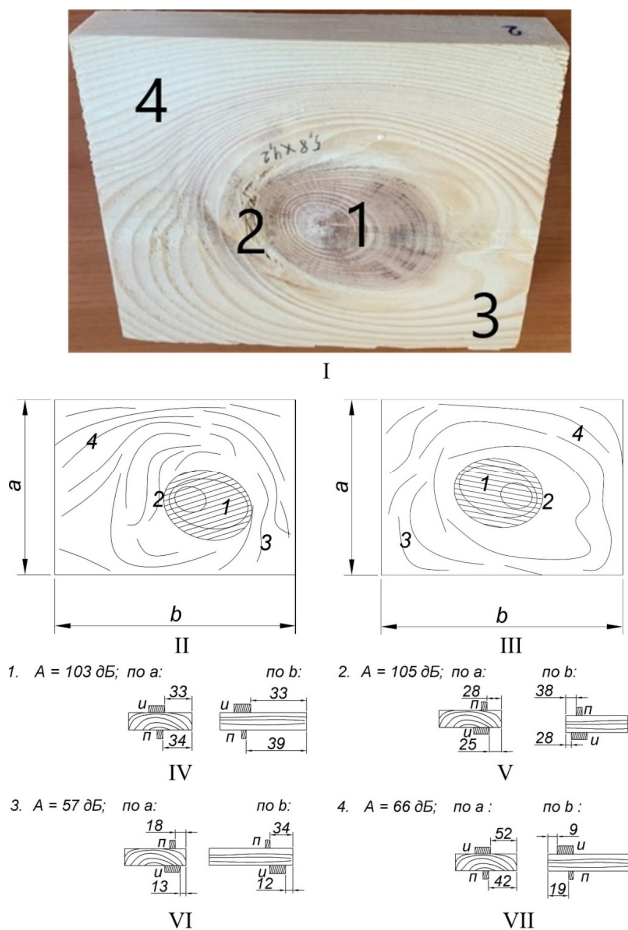
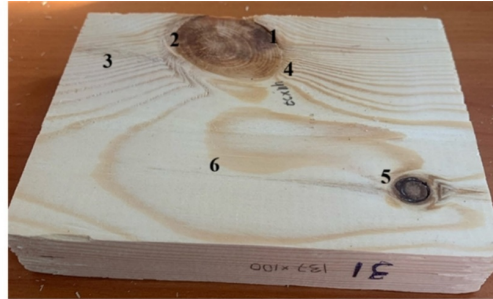


Рис. 1. Схемы расположения и установки датчиков:

I – фотография объекта; II – схема расположения датчиков (лицевая сторона объекта исследования); III – схема расположения датчиков (оборотная сторона объекта исследования); IV-VII – схемы установки датчиков с размерами в различных точках; 1-4 – точки расположения датчиков на образце; A – амплитуда сигнала, дБ; u – излучатель; n – приемник; a , b – стороны образца

Fig. 1. Sensor arrangement and installation diagrams:

I – photograph of the object; II – sensor arrangement diagram (front side of the object under study); III – sensor arrangement diagram (rear side of the object under study); IV-VII – sensor installation diagrams with dimensions at various points; 1-4 – sensor locations on the sample; A – signal amplitude, dB; u – emitter; n – receiver; a , b – sample sides



I

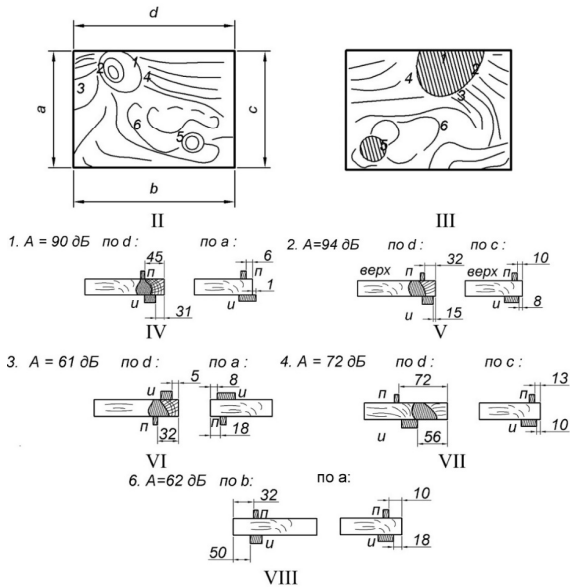


Рис. 2. Схемы расположения и установки датчиков:

I – фотография объекта; II – схема расположения датчиков (лицевая сторона объекта исследования); III – схема расположения датчиков (оборотная сторона объекта исследования); IV-VIII – схемы установки датчиков с размерами в различных точках; 1-6 – точки расположения датчиков на образце; A – амплитуда сигнала, дБ; u – излучатель; n – приемник; a, b, c, d – стороны образца

Fig. 2. Sensor arrangement and installation diagrams:

I – photograph of the object; II – sensor arrangement diagram (front side of the object under study); III – sensor arrangement diagram (rear side of the object under study); IV-VIII – sensor installation diagrams with dimensions at various points; 1-6 – sensor locations on the sample; A – signal amplitude, dB; u – emitter; n – receiver; a, b, c, d – sample sides

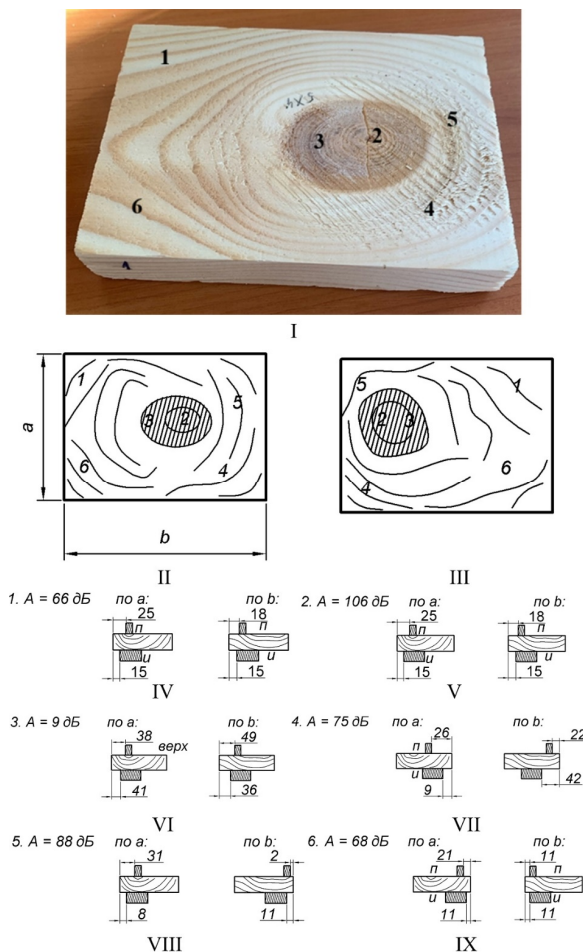


Рис. 3. Схемы расположения и установки датчиков:

I – фотография объекта; II – схема расположения датчиков (лицевая сторона объекта исследования); III – схема расположения датчиков (оборотная сторона объекта исследования);

IV-IX – схемы установки датчиков с размерами в различных точках;

1-6 – точки расположения датчиков на образце; A – амплитуда сигнала, дБ;

u – излучатель; n – приемник; a, b – стороны образца

Fig. 3. Sensor arrangement and installation diagrams:

I – photograph of the object; II – sensor arrangement diagram (front side of the object under study); III – sensor arrangement diagram (rear side of the object under study); IV-IX – sensor installation diagrams with dimensions at various points; 1-6 – sensor locations on the sample;

A – signal amplitude, dB; u – emitter; n – receiver; a, b – sample sides

В зоне 2, рис. 2, наличие трещины на сучке также приводит к необходимости усиления амплитуды сигнала в 106 дБ. В точке 5 требуется усиление амплитуды сигнала в 88 дБ, предшествуя появлению сучка. Вероятно, оно показывает наличие микротрещин, предшествующих появлению сучка, что может быть вызвано рядом факторов, в том числе наличием внутренних напряжений, дефектами обработки и пр. Несмотря на то, что зона 3 характеризуется равномерно распределённой плотностью, представленный порок нельзя отнести к разряду здоровых сросшихся сучков, так как с одной из сторон наблюдается наличие скрытых, невидимых при визуальной оценке дефектов. При дальнейшей эксплуатации их наличие может привести к развитию трещин, способных привести к разрушению как одного элемента, так и всей конструкции в целом. Следует отметить, что образование трещин в первую очередь характерно для околосучковой зоны древесины и связано, в основном, с её усушкой.

Аналогичный характер прохождения ультразвука наблюдается и в точках 1, 2, 4 на рис. 3. Предшествуя появлению сучка, с зоной появления невидимых при визуальной оценке дефектов или пороков (зона 4) усиление амплитуды сигнала составляет 72 дБ. При этом на самом сучке в точке 1 оно составляет 90 дБ, в точке 2 – 94 дБ, что также позволяет предположить наличие внутри сучка трещин, пустот, внутренней гнили или иных аномалий строения, способных привести к снижению вариантов функционального назначения пиломатериалов.

Представленные результаты доказывают возможность использования ультразвуковых технологий при проведении сортировки пиломатериалов с определением их сорта, оценки состояния внутренней структуры на наличие пороков и дефектов. При этом область возможного применения ультразвука в деревообработке достаточна обширна, а результаты исследований последних лет показывают их высокую эффективность.

Заключение. Применение ультразвука позволяет не только определить значение плотности древесины, но и равномерность её распределения в объёме пиломатериала, оценить качество сучков, в том числе наличие в них пороков и дефектов обработки, в первую очередь трещин и гнили.

Критерием оценки наличия дефектных зон является величина усиления амплитуды сигнала. Усиление амплитуды сигнала в диапазоне от 55 до 70 дБ является наиболее характерным для древесины в бездефектных зонах или показывает наличие здоровых сросшихся сучков. Усиление амплитуды сигнала свыше 70 дБ свидетельствует о недопустимых пороках для изготовления ответственных изделий и конструкций из древесины.

В зависимости от породы древесины, её структуры и особенностей строения значения границ уровней амплитуды усиления сигнала могут быть различны, что предопределяет актуальность проведения дальнейших исследований.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Артемов В.Е., Паврос С.К. Исследование акустического тракта теневого метода ультразвуковой дефектоскопии с регистрацией второго прошедшего импульса // Дефектоскопия. 1981. №8. С. 68 – 73.

Бобылева Ю.Н., Давыдов С.Л., Зарецкий-Феоктистов Г.Г. К вопросу об определении упругих параметров древесины ультразвуковым методом // ИВУЗ. Лесной журнал. 1978. №3. С. 156–159.

Голубев А.С., Паврос С.К. Неразрушающий контроль материалов и изделий. Л.: ЛЭТИ, 1989. 60 с.

Добротин Д.Д., Паврос С.К. Обработка сигналов при неразрушающем контроле. Л.: ЛЭТИ, 1986. 80 с.

Добротин Д.Д., Паврос С.К. Обработка и анализ случайных сигналов. Л.: ЛЭТИ, 1999. 80 с.

Ермолов И.Е., Ланге Ю.В. Ультразвуковой контроль // Неразрушающий контроль: справочник в 7 т. под общ. ред. В.В. Клюева. М., 2004. Т. 3. 864 с.

Кармадонов А.Н. Дефектоскопия древесины, М.: Лесная промышленность, 1987. 120 с.

Колесникова А.А. Исследование свойств древесины по кернам. Йошкар-Ола: Марийский Государственный Технический Университет, 2002. 178 с.

Лакатош Б.К. Дефектоскопия древесины, М.: Лесная промышленность, 1966. 183 с.

Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесная промышленность, 1976. 160 с.

Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. 4-е изд. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.

Федяев А.А. Определение видов пиломатериалов (радиальные, тангенциальные) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 255. С. 403–416. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.403-416.

Чубинский А.Н. Методы и средства научных исследований. Методология, методы планирования и обработки результатов экспериментов: учеб. пособие. СПб.: Медиапапир, 2024. 130 с.

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.

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

Чубинский А.Н., Тамби А.А., Теплов А.В., Ананьева Н.И., Семишкур С.О., Бахшиева М.А. Физические неразрушающие методы испытания и оценка структуры древесных материалов // Дефектоскопия. 2014. Т. 50, №11. С. 76–84.

Чубинский А.Н., Тамби А.А., Федяев А.А., Федяева Н.Ю., Кульков А.М. Направления использования физических методов контроля структуры и свойств древесины // Системы. Методы. Технологии. 2015. №2 (26). С. 152–158.

Чубинский А.Н., Федяев А.А., Шумякова Н., Федяева Н.Ю. Определение сплошности клеевого соединения в древесном материале с помощью ультразвука // Системы. Методы. Технологии. 2017. №2 (34). С. 101–105. DOI: 10.18324/2077-5415-2017-2-101-105.

Arriaga F., Osuna-Sequera C., Bobadilla I., Esteban M. 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, iss. 3. Art. no. 126512. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126512.

Baar J., Tippner J., Rademacher P. Prediction of mechanical properties – modulus of rupture and modulus of elasticity – of five tropical species by nondestructive methods // Maderas. Ciencia y tecnología. 2015. Vol. 17, no. 2. P. 239–252. DOI: 10.4067/S0718-221X2015005000023.

Bucur V. Acoustics of wood. Berlin: Springer, 2006. 393 p. DOI: 10.1007/3-540-30594-7.

Tippner J., Hrivnák J., Kloiber M. Experimental evaluation of mechanical properties of softwood using acoustic methods // BioResources. 2016. Vol. 11, no. 1. P. 503–518. DOI: 10.15376/biores.11.1.503-518.

Vázquez C., Gonçalves R., Bertoldo C., Baño V., Vega A., Crespo J., Guaita M. 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. P. 607–622. DOI: 10.1007/s00226-015-0719-7.

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 // Holzforschung. 2003. Vol. 57. P. 547–552. DOI: 10.1515/HF.2003.081.

References

Arriaga F., Osuna-Sequera C., Bobadilla I., Esteban M. 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, iss. 3, art. no. 126512. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126512.

Artemov V.E., Pavros S.K. Study of the acoustic path of the shadow method of ultrasonic flaw detection with registration of the second transmitted pulse. *Defectoscopy*, 1981, no. 8, pp. 68–73. (In Russ.)

Baar J., Tippner J., Rademacher P. Prediction of mechanical properties – modulus of rupture and modulus of elasticity – of five tropical species by nondestructive methods. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 2015, vol. 17, no. 2, pp. 239–252. DOI: 10.4067/S0718-221X2015005000023.

Bobyleva Yu.N., Davydov S.L., Zaretsky-Feoktistov G.G. On the issue of determining the elastic parameters of wood by the ultrasonic method. *Russian forestry journal*, 1978, no. 3, pp. 156–159. (In Russ.)

Bucur V. Acoustics of wood. Berlin: Springer, 2006. 393 p. DOI: 10.1007/3-540-30594-7.

Chubinsky A.N. Methods and Tools of Scientific Research. Methodology, Methods of Planning and Processing Experimental Results: study guide. St. Petersburg: Mediapapir, 2024. 130 p. (In Russ.)

Chubinsky A.N., Fedyaev A.A., Pavros K.S., Teplyakova A.V. Predicting the gluing strength of planed lumber using ultrasonic diagnostics. *Bulletin of SPbSETU “LETI”*, 2011, no. 7, pp. 109–115. (In Russ.)

Chubinsky A.N., Fedyaev A.A., Pavros K.S., Teplyakova A.V., Lozak A.A. Study of ultrasonic beam deviation during wood sounding. *Bulletin of SPbSETU “LETI”*, 2012, no. 6, pp. 77 – 82. (In Russ.)

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. *Russian journal of non-destructive testing*, 2014, vol. 50, no. 11, pp. 76–84. (In Russ.)

Chubinsky A.N., Tambi A.A., Fedyaev A.A., Fedyaeva N.Yu., Kulkov A.M. Directions for using physical methods to control the structure and properties of wood. *Systems. Methods. Technologies*, 2015, no. 2 (26), pp. 152–158. (In Russ.)

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, no. 2 (34), pp. 101–105. (In Russ.)

Dobrotin D.D., Pavros S.K. Processing of signals in non-destructive testing. Leningrad: LETI, 1986. 80 p. (In Russ.)

Dobrotin D.D., Pavros S.K. Processing and analysis of random signals. Leningrad: LETI, 1999. 80 p. (In Russ.)

Ermolov I.E., Lange Yu.V. Ultrasonic testing. *Non-destructive testing: handbook in 7 vol. under the gen. ed. of V.V. Klyuev*. Moscow, 2004, vol. 3, 864 p. (In Russ.)

Fedyaev A.A. Definition of types of lumber (radial, tangential). *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhniceskoj akademii*, 2025, iss. 255, pp. 403–416. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.403-416. (In Russ.)

Golubev A.S., Pavros S.K. Non-destructive testing of materials and products. Leningrad: LETI, 1989. 60 p. (In Russ.)

Karmadonov A.N. Wood flaw detection. Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 1987. 120 p. (In Russ.)

Kolesnikova A.A. Study of wood properties using cores. Yoshkar-Ola: Mari State Technical University, 2002. 178 p. (In Russ.)

Lakatosh B.K. Wood flaw detection, Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 1966. 183 p. (In Russ.)

Poluboyarinov O.I. Wood density. Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 1976. 160 p. (In Russ.)

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.

Ugolev B.N. Wood science with the basics of forest commodity science. 4th ed. Moscow: MSUL, 2007. 351 p. (In Russ.)

Vázquez C., Gonçalves R., Bertoldo C., Baño V. Vega A., Crespo J., Guaita M. 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.

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. *Holzforschung*, 2003, vol. 57, pp. 547–552. DOI: 10.1515/HF.2003.081.

Материал поступил в редакцию 19.02.2026

Федяев А.А., Теплякова А.В., Откидычева Е.В., Соловьева А.Д., Юркова О.В., Чубинский А.Н. Влияние сучков на прохождение ультразвука в древесине // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 259. С. 359–374. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.259.359-374

Рассмотрена возможность использования ультразвука для определения наличия и оценки состояния сучков в древесине. Сортировка пиломатериалов по наличию пороков или дефектов осуществляется в основном визуальным способом, что не всегда дает возможность корректного определения дальнейшего функционального назначения этих полуфабрикатов с требуемыми эксплуатационными характеристиками. При этом в случае визуальной оценки сорта и состояния пиломатериалов высока вероятность ошибочного принятия решения, так как ряд пороков является скрытыми. Наличие скрытых внутренних пороков или дефектов, в том числе сучков и трещин в зонах их расположения, может приводить к дальнейшему разрушению как одного элемента, так и всей конструкции в целом. Для оценки наличия и состояния этих материалов может быть применена ультразвуковая диагностика. Высокую степень достоверности при диагностике цельной древесины показывает теневой метод акустического контроля. В рамках проведенных исследований применяли частоту 2,5 МГц. При прозвучивании древесины вследствие её анатомического строения возникает ряд

особенностей самой диагностики, которые позволяют расширить возможности использования метода. К таким особенностям можно отнести необходимость усиления амплитуды сигнала для его прохождения через древесину, что свидетельствует о наличии или отсутствии пороков или дефектов, а также дает возможность оценки их состояния и определения функционального назначения. Бездефектная зона, а также зона со здоровыми сросшимися сучками требуют усиления амплитуды сигнала до 70 дБ. Увеличение усиления амплитуды сигнала выше 70 дБ свидетельствует о появлении зоны концентрации внутренних напряжений, а также пороков и дефектов, значительно снижающих качество пиломатериалов.

Ключевые слова: пиломатериалы, пороки древесины, дефекты древесины, сучки, трещины, теневой метод, усиление амплитуды сигнала, ультразвук.

Fedyayev A.A., Teplyakova A.V., Otkidycheva E.V., Solovyeva A.D., Yurkova O.V. Chubinsky A.N. The effect of knots on the passage of ultrasound in wood. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2026, iss. 259, pp. 359–374 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.259.359-374

The possibility of using ultrasound to detect the presence and assess the condition of knots in wood is considered. Sorting lumber for defects or flaws is primarily done visually, which does not always allow for an accurate determination of the intended use of these semi-finished products with the required performance characteristics. Furthermore, visual assessment of the grade and condition of lumber is highly prone to making erroneous decisions, as some defects are hidden. The presence of hidden internal defects or flaws, including knots and cracks in the areas where they are located, can lead to further failure of either a single element or the entire structure. Ultrasonic diagnostics can be used to assess the presence and condition of these materials. The shadow method of acoustic testing demonstrates a high degree of reliability in the diagnostics of solid wood. A frequency of 2.5 MHz was used in the studies. Due to the anatomical structure of wood, several diagnostic features arise during the sounding process, which expand the scope of this method. These characteristics include the need to amplify the signal amplitude to pass through the wood, which indicates the presence or absence of defects and flaws, and allows for an assessment of their condition and the determination of their functional purpose. A defect-free zone, as well as a zone with healthy intergrown knots, requires signal amplification to 70 dB. Increasing the signal amplitude above 70 dB indicates the presence of a zone of internal stress concentration, as well as defects and flaws that significantly reduce the quality of the lumber.

Key words: lumber, wood defects, wood flaws, knots, cracks, shadow method, signal amplitude amplification, ultrasound.

ФЕДЯЕВ Артур Александрович – заведующий кафедрой технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0001-8036-7432. SPIN-код: 8169-9209.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: art_fedyaev@mail.ru

FEDYAEV Artur A. – PhD (Technical), Head of the Department of Materials Technology, Designs and Constructions of Wood, St.Petersburg State Forest Technical University. ORCID: 0000-0001-8036-7432. SPIN-code: 8169-9209.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: art_fedyaev@mail.ru

ТЕПЛЯКОВА Александра Викторовна – доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), кандидат технических наук. ORCID: 0009-0005-9887-2345. SPIN-код: 8103-2766.

197022, ул. Профессора Попова, д. 5, лит. Ф, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: smaest@mail.ru

TEPLYAKOVA Aleksandra V. – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Electroacoustics and Ultrasound Technology, St. Petersburg Electrotechnical University “LETI”. ORCID: 0009-0005-9887-2345. SPIN-code: 8103-2766.

197022. Professora Popova str. 5. Let. F. St. Petersburg. Russia. E-mail: smaest@mail.ru

ОТКИДЫЧЕВА Елизавета Вячеславовна – инженер, АО «НПП Радар ММС». ORCID: 0009-0005-4576-974X.

197375, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А., Санкт-Петербург, Россия. E-mail: o.liza2003@yandex.ru

OTKIDYCHEVA Elizaveta V. – engineer, AO “NPP Radar MMS”. ORCID: 0009-0005-4576-974X.

197375. Novoselkovskaya str. 37. Let. A. St. Petersburg. Russia. E-mail: o.liza2003@yandex.ru

СОЛОВЬЕВА Анастасия Дмитриевна – аспирант кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. ORCID: 0009-0007-3783-6003. SPIN-код: 9353-3872.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: nastya.solo.spb2016@yandex.ru

SOLOVYEVA Anastasia D. – PhD student, Department of Materials Technology, Designs and Constructions of Wood, St.Petersburg State Forest Technical University. ORCID: 0000-0002-1157-3731. SPIN-code: 9353-3872.

194021, Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: nastya.solo.spb2016@yandex.ru

ЮРКОВА Олеся Викторовна – руководитель технологического отдела ООО «Ставро». ORCID: 0009-0003-7637-4834. SPIN- код: 2636-2304.

190020, наб. Обводного канала, д. 134, к. 12, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: olesya_urkova.tiger22@yandex.ru

YURKOVA Olesya V. – Head of the Technology Department, LLC «Stavros». ORCID: 0009-0003-7637-4834. SPIN-code: 2636-2304.

190020, Obvodnogo kanala emb. 134, build. 12. St. Petesrburg. Russia. E-mail: olesya_urkova.tiger22@yandex.ru

ЧУБИНСКИЙ Анатолий Николаевич – профессор кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук,. ORCID: 0000-0001-7914-8056. SPIN-код: 9752-4460.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a.n.chubinsky@gmail.com

CHUBINSKY Anatoly N. – DSc (Technical), Professor, Department of Materials Technology, Designs and Constructions of Wood, St.Petersburg State Forest Technical University. ORCID: 0000-0001-7914-8056. SPIN-code: 9752-4460.

194021, Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: a.n.chubinsky@gmail.com