

На правах рукописи



Чернова Мария Сергеевна

**РАЗРАБОТКА НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ
РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ**

4.3.4 Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства
и переработки древесины

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Поволжский государственный технологический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Федюков Владимир Ильич

Официальные оппоненты: Мелехов Владимир Иванович - доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова», кафедра лесопромышленных производств и обработки материалов, профессор

Горбачева Галина Александровна - кандидат технических наук, доцент, Мытищинский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», кафедра древесинovedения и технологии деревообработки, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (г. Санкт-Петербург)

Защита состоится 07 июля 2023 в 13-00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.285.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, ауд. 146.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» <https://vgtu.ru/nauka/dissertacionnye-sovety/sovets-d-21203402>

Автореферат разослан «__» мая 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Платонов Алексей Дмитриевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для музыкальной промышленности как в России, так и за рубежом одной из проблем на сегодняшний день является недостаточное количество резонансной древесины, обладающей акустическими свойствами. Требуется поиск различных вариантов для ее нахождения. Потребность в резонансных сортаментах помимо производства музыкальных инструментов высока и в изготовлении акустических панелей для театров, консерваторий. Древесина с уникальными акустическими (резонансными) свойствами зависит от условий местопроизрастания и с генетической предрасположенностью обусловленных деревьев хвойных пород, преимущественно ели. Следует отметить сокращение запасов хвойных пород во многих странах. Как следствие, цена кубометра сертифицированных резонансных заготовок в виде досок высока. В России проблема обеспечения резонансным материалом усугубляется тем, что в последние годы резко сокращаются эксплуатационные насаждения ели под пагубным действием короеда-типографа (*Ips typographus*), который резко распространился на ослабленных деревьях после засухи 2010 года. В то же время большие запасы неиспользуемой древесины сосредоточены в старых деревянных жилых сооружениях, подлежащих сносу. Например, перепись населения 2010 года свидетельствует о 32 тыс. заброшенных поселках, деревнях и селах; по самым скромным расчетам, общий объем неиспользуемой здесь древесины составляет не менее 0,5млн. кубометров. Одним из основных факторов, сдерживающих эффективное использование такой древесины по целевому назначению в качестве резонансного сырья в современной России является отсутствие необходимых технических средств и соответствующих методик, а также стандартов на технические условия и неразрушающие методы экспресс-диагностики ее резонансных и других физико-механических свойств непосредственно у старого сооружения. Тема данной работы актуальна и имеет практическую значимость.

Степень разработанности. Исследования акустических свойств древесины проводили ученые Н.Н. Андреев, Н.Ф. Гусев, Г.Н. Пахарь, Н.С. Нестеров, Б.Н. Уголев, И.И. Пищик, Т.А. Макарова, Т.А. Колесникова, И.И. Кузнецов, В.А. Баженов, В.Д. Никишов, В.Г. Санаев, Г.С. Корсаков, В.В. Гулузаков, В.И. Федюков, Е.Ю. Салдаева и др. Среди зарубежных ученых и специалистов, посвятивших свои исследования изучению этих вопросов, являются V. Bucur, K. Kranitz, P. Niemi, E. Obataya, Miyuki Matsuo, G. Blskova, N. Brdarov, R. Ille, и др. На сегодняшний день мало работ посвящено исследованию свежесрубленной и высушенной древесины как в пиломатериалах, так и в сооружениях разрушающимися методами. Исследованиями по определению качества древесины в старых сооружениях занимались И.И. Пищик, В.И. Федюков и др. Большой научно-практический интерес в области изучения физико-механических свойств ретродревесины представляет фундаментальная работа Т.А. Никитиной, выполненная под руководством профессоров, докторов технических наук В.И. Мелехова и Б.В. Лабудина. Существен-

ным пробелом для определения технического качества древесины неразрушающим способом вообще, не говоря уже о диагностике резонансных свойств древесины после длительной выдержки в сооружениях, является, как было сказано выше, отсутствие нормативно-технической базы. Все действующие стандарты с ГОСТ 16483.0 по ГОСТ 16483.39 на требования и методы испытаний древесины описывают разрушающие методы контроля и не пригодны для диагностики резонансной древесины в старой древесине.

Цель работы - разработка неразрушающих методов диагностики и рационально-целевое использование резонансной древесины после длительной эксплуатации в сооружениях.

Задачи исследований:

- провести анализ научных работ и нормативно-технической документации, представляющей методы диагностики выдержанной древесины в сооружениях для экспресс-диагностики её резонансных свойств;
- выполнить исследования акустических и физико-механических свойства древесины в стеновой, потолочной и половой конструкциях старого сооружения;
- разработать методики для неразрушающего контроля резонансных свойств древесины в разных элементах конструкции старого сооружения;
- определить взаимосвязи резонансных свойств и колориметрических показателей древесины ели и сосны в деревянном сооружении;
- разработать рекомендации по получению резонансных заготовок в деревянном сооружении в зависимости от его расположения относительно сторон света;
- разработать Стандарт организации для отбора и испытаний резонансной выдержанной древесины из строений.

Объект исследования выдержанная древесина ели и сосны после длительной эксплуатации в разных элементах конструкции старых сооружений.

Предмет исследования акустические и колориметрические свойства древесины ели и сосны.

Научная новизна работы:

- исследованы акустические и физико-механические свойства древесины в стеновой, потолочной и половой конструкциях старого сооружения;
- установленные взаимосвязи резонансных свойств и колориметрических показателей древесины ели и сосны, отличающиеся в зависимости от места ее расположения относительно сторон света в стеновой части деревянного сооружения при длительной эксплуатации;
- разработаны методики для неразрушающего контроля резонансных свойств древесины, отличающейся возможностью оценки эксплуатационных свойств древесины в разных элементах конструкции старого сооружения;
- разработаны рекомендации по выявлению мест отбора заготовок с высокими резонансными свойствами в деревянном сооружении, отличающиеся учетом его расположения относительно сторон света.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в обосновании взаимосвязей резонансных и колориметрических свойств древесины с физико-механическими показателями свежесрубленной древесины и в конструкциях старых сооружений.

Практическая значимость работы заключается в разработке неразрушающей методики резонансных свойств древесины в разных элементах конструкции старого сооружения с целью выявления древесного сырья для изготовления музыкальных инструментов, акустических панелей внутренних стен зрительных залов консерваторий и театров, а также при реставрационных работах икон, качественной мебели и др.

Методы исследований. Теоретические изыскания базировались на основных положениях древесиноведения. Для выполнения экспериментальных исследований на современном сертифицированном оборудовании использованы действующие межгосударственные стандарты серии ГОСТ 16483 на методы испытаний древесины для определения физико-механических свойств. При обработке полученных результатов были использованы методы статистического анализа, сравнения акустических и других физико-механических свойств древесины из разных частей старого сооружения со средними показателями свежей древесины соответствующей породы.

Основные положения, выносимые на защиту:

- акустические и физико-механические свойства древесины, позволяющие разработать методику экспресс-диагностики резонансной древесины в стеновой, потолочной и половой конструкциях старого сооружения;
- методика неразрушающего контроля резонансных свойств древесины в разных элементах конструкции старого сооружения, позволяющая использовать ценный материал строго по целевому назначению;
- взаимосвязи резонансных свойств и колориметрических показателей древесины ели и сосны в деревянном сооружении, позволяющие производить экспресс-диагностику качества древесины в разных элементах старых построек.
- проект Стандарта организации (СТО) для отбора и испытаний резонансной выдержанной древесины из строений.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Основные результаты работы соответствуют п. 12. Неразрушающие методы и квалиметрическая оценка древесины на корню, в сортиментах, в конструкциях из древесины и древесных материалов паспорта специальности 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины (технические науки).

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивают большой объем выполненных полевых работ и экспериментальных исследований с применением сертифицированных технических средств в аттестованной научной Лаборатории квалиметрии древесины Поволжского государственного технологического университета; обработка результатов исследований современными вариационно-статистическими методами на достаточном уровне доверительной вероятности.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на VI Международном симпозиуме имени Б.Н. Уголева «Строение, свойства и качество древесины – 2018», г. Красноярск, 2018 г.; IV Всероссийской студенческой конференции «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России» (ПГТУ), г. Йошкар-Ола, 2018 г.; 71-й студенческой научно-технической конференции ПГТУ, г. Йошкар-Ола, 2019 г.; на III Международной научно-практической конференции «Стратегии развития региона на основе модернизации приоритетных отраслей его экономики», г. Йошкар-Ола, 2019 г.; V Всероссийской студенческой конференции «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России» (ПГТУ), г. Йошкар-Ола, 2019 год; VII Международной научно-практической конференции молодых преподавателей, аспирантов и студентов «Проблемы и перспективы инновационного развития экономики регионов России» (ПГТУ), г. Йошкар-Ола, 14-15 ноября 2019 год; IV Международной научно-практической конференции «Стратегии развития региона на основе модернизации приоритетных отраслей его экономики», г. Йошкар-Ола, 29-30 мая 2020 года; VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Техническое регулирование в едином экономическом пространстве», г. Екатеринбург, 2020 г.; IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса», г. Кострома, 2021 г.

Реализация работы. Результаты исследований внедрены в учебный процесс ПГТУ в порядке реализации компетенций образовательных программ при выполнении практических и лабораторных занятий со студентами направления «Стандартизация и метрология». Основные Положения разработанного соискателем СТО «Методика отбора и испытаний резонансной выдержанной древесины из строений» внедрены Учебно-производственным отделом ДИХР ПГТУ, который налажил производство по выработке резонансных заготовок из выдержанной в старых сооружениях древесины для изготовления марийских национальных инструментов – гуслей; это обеспечило оптимизацию процессов целевого отбора сырья в заброшенных домах, находящихся в деревнях Республики Марий Эл.

Публикации. Основное содержание работы представлено в 18 работах. В изданиях, рекомендованных ВАК России, опубликовано 2 статьи, 2 работы в зарубежном научном журнале, входящем в базу цитирования Scopus. Получено 2 Патента.

Личный вклад автора. В работе автор обосновал актуальность темы, подготовил экспериментальные образцы, провел испытания, проанализировал результаты экспериментальных исследований, подготовил публикации по теме исследования.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и рекомендаций, библиографического списка и приложений. Всего работа включает в себя 127 страниц текста, из которых 97 страниц основного материала. В работе насчитывается 24 таблицы, 29 рисунков, 81 литературных источников, из которых 10 являются зарубежными.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы ее цель, задачи, научная новизна, выносимые на защиту научные положения, их практическая значимость, личный вклад автора, результаты внедрения.

В первой главе представлена история использования древесины после долгой эксплуатации в зданиях и сооружениях в строительстве, изготовлении музыкальных инструментов, иконописи; приведен обзор исследований в области резонансных свойств и физико-механических свойств состаренной древесины таких ученых как Н.Н. Андреев, Ю.А. Варфоломеев, Т.А. Макарьева, М.В. Кистерная, Б.Н. Уголев, И.И. Пищик, В.А. Шамаев, В.И. Мелехов, В.И. Федюков, J. Froidevaux, P. Navi, V. Bucur, K. Kranitz, P. Niemz, E. Obataya, Miyuki Matsuo, G. Blskova, N. Brdarov, R. She и др.

В нормативно-технической документации, действующих стандартах отсутствуют требования для резонансной выдержанной древесины и неразрушающих методов ее диагностики.

Во второй главе проводится теоретическое обоснование установления акустической константы и резонансных свойств древесины. Для выявления свойств древесины требуется определение скорости звука в древесине и ее плотности. Для теоретического расчета акустической константы разработана математическую модель, учитывающую изменение плотности, модуля упругости и скорости распространения продольной ультразвуковой волны.

По абсолютным и относительным отклонениям плотности и динамического модуля упругости построены зависимости и определены аппроксимирующие функции.

Для динамического модуля упругости выбрана несинусоидальная аппроксимирующая функция, поскольку синусоидальная имеет низкую сходимость с экспериментальными данными. Однако она наблюдается, поэтому было принято решение взять функцию, которая приближена к синусоиде в указанном диапазоне времени. Коэффициенты и основные статистические показатели полученных функций представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Коэффициенты аппроксимирующих функций относительных отклонений плотности и динамического модуля упругости в зависимости от года начала эксплуатации древесины и их основные статистические показатели

Показатели	$y = a \cdot \sin \cdot (bx+c)+d$	$y = a+bx+cx^{2,5}+dx^3$
a/a_1	9,8	286304,6
b/b_1	11,5	-380,2
c/c_1	0,34	0,0074
d/d_1	239,6	-0,0001
r^2	0,76	0,26
стандартная ошибка	5,8	39,3
F-значение	3,19	0,35

Полученные аппроксимирующие зависимости представлены в виде

$$\Delta\rho = a \cdot \sin \cdot (bT+c)+d; \quad (1)$$

$$\Delta E = a_1+b_1T+c_1T^{2,5}+d_1T^3. \quad (2)$$

где T – год начала эксплуатации (заготовки) древесины, год; $\Delta\rho$ – отклонение от базовой плотности древесины ели в зависимости от года начала эксплуатации, %; ΔE – отклонение от базового динамического модуля упругости древесины ели в зависимости от года начала эксплуатации, %; $a, b, c, d, a_1, b_1, c_1, d_1$ – коэффициенты аппроксимирующих функции.

Основываясь на научном предположении о синусоидальном характере изменения свойств и состава древесины в зависимости от возраста (срока 35 выдержки) выполнено прогнозирование данных путем интерполяции. Скорость распространения продольной ультразвуковой волны и акустическая константа выдержанной древесины рассчитаны с использованием полученных зависимостей (1) и (2). Общие виды уравнений прогнозирования скорости распространения ультразвуковой волны в выдержанной древесине ели в зависимости от года начала эксплуатации (3) и уравнение прогнозирования скорости распространения ультразвуковой волны в выдержанной древесине ели в зависимости от года начала эксплуатации (4).

$$c = \sqrt{\frac{E + E0,01(a_1 + b_1T + c_1T^{2,5} + d_1T^3)}{\rho + \rho0,01(asin(bT + c) + d)}} \quad (3) \quad K = \sqrt{\frac{E + E0,01(a_1 + b_1T + c_1T^{2,5} + d_1T^3) \cdot 10^6}{\rho + \rho0,01(asin(bT + c) + d)}} \quad (4)$$

На основе полученных уравнений (3) и (4) теоретически определены значения с интервалом времени начала эксплуатации 25 лет (рисунок 1).

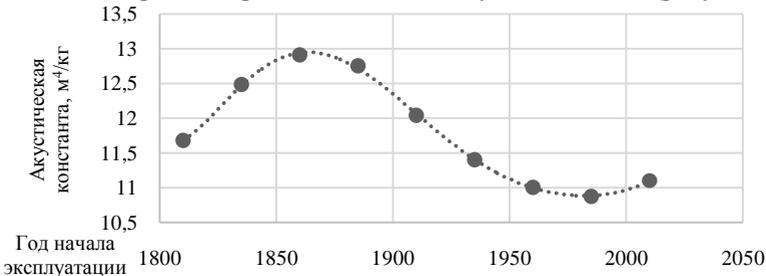


Рисунок 1 — Теоретическая кривая зависимости акустической константы от года начала эксплуатации (заготовки) древесины ели в зданиях и сооружениях

В соответствии с кривой (рисунок 1) разработаны модели прогнозирования акустической константы (5) и (6) и рассчитаны основные статистические показатели (таблица 2).

$$K_{(\sin)} = 11,8sin(1,04T + 5,24) + 221,8; \quad (5) \quad \text{или} \quad K = 12227,4 + 16T + 0,003T^{2,5} + 0,00043T^3 \quad (6)$$

Таблица 2 — Основные статистические показатели моделей прогнозирования акустической константы

Показатели	$K_{(\sin)}$	K
r^2	0,99	0,99
скорректированный r^2	0,97	0,97
стандартная ошибка	0,12	0,12
F-значение	106,8	108,4

Для исследования изменчивости цвета выдержанной древесины в зависимости от времени эксплуатации в зданиях и сооружениях использовалась RGB аддитивная цветовая модель.

Уравнения регрессии между сроком эксплуатации древесины ели и изменениями RGB-уровней имеют следующий вид:

$$- \text{ для красной составляющей цвета } R = 218e^{-0.002\Delta t} (r^2 = 1) \quad (7);$$

$$- \text{ для зеленой составляющей цвета } G = 176,4e^{-0.002\Delta t} (r^2 = 0,99) \quad (8);$$

$$- \text{ для голубой составляющей цвета } B = 144,2e^{-0.003\Delta t} (r^2 = 0,99) \quad (9).$$

где Δt – срок эксплуатации (выдержки), лет.

Основываясь на предположении, что выдержанная древесина ели может быть отнесена к резонансной ($K > 12 \text{ м}^4/\text{кг}\cdot\text{с}$) со сроком эксплуатации (выдержки) от 100 до 175 лет, для данного периода по уравнениям (7-9) рассчитаны диапазоны RGB-уровней:

$$- \text{ для красной составляющей цвета } R_{100-175} = 178-154;$$

$$- \text{ для зеленой составляющей цвета } G_{100-175} = 144-124;$$

$$- \text{ для голубой составляющей цвета } B_{100-175} = 107-85.$$

В третьей главе представлена характеристика объекта исследований и методика отбора образцов древесины.

В качестве объекта исследования были образцы выдержанной древесины ели и сосны из стеновой, половой и потолочной конструкций после длительной эксплуатации. Определен порядок проведения экспериментальных работ, включающих в себя: отбор и подготовку образцов, определение физико-механических, акустических и колориметрических показателей древесины.

Определение предела прочности при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон выполнялось согласно требованиям ГОСТ 16483.3-84 и ГОСТ 16483.10-73 соответственно.

В целях изучения акустических свойств отобранной выдержанной древесины применялся метод ультразвукового исследования, включающий в себя установление взаимосвязи скорости распространения звука в испытуемом материале с модулем упругости E . Метод проводится при помощи импульсного ультразвукового прибора УК-14П.

С помощью колориметра марки PCE-RGB 2 проводились измерения образцов по RGB-уровню. Для этого на каждом образце находилась сторона с расположением годичных колец в тангенциальном направлении. Измерение проводилось на трех участках: по центру и на расстоянии не менее 10 мм от торца образца.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований акустических и физико-механических свойств древесины в различных элементах сооружения.

Основные статистические показатели результатов экспериментальных исследований прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе в зависимости от сторон света и отдельно по породам выдержанной древесины представлены в таблицах 3-4. Уровень значимости $p=0,05$ (95%).

Таблица 3 — Основные статистические показатели предела прочности выдержанной древесины по сторонам света, МПа

Сторона	Объем	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное от-
---------	-------	---------	---------	----------	-----------------

света	выборки	значение			клонение
1. На сжатие вдоль волокон					
Восток	10	51,1	39,7	74,9	10,27
Север	10	49,2	36,2	101,0	16,20
Запад	10	46,2	30,6	101,0	20,39
Юг	10	59,9	40,6	78,0	13,81
2. На статический изгиб					
Восток	10	76,5	26,5	117,9	20,94
Север	10	84,9	68,7	94,4	7,47
Запад	10	72,0	29,0	90,0	18,26
Юг	10	118,0	70,3	169,9	32,24

Таблица 4 — Основные статистические показатели предела прочности выдержанной древесины в зависимости от породы, МПа

Порода (часть дерева)	Объем выборки	Среднее значение	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
На сжатие вдоль волокон					
Выдержанная ель	40	48,0	39,0	59,1	6,00
Выдержанная сосна, ядровая	30	52,7	30,6	101,0	18,48
Выдержанная сосна, заболонь	15	47,5	39,4	62,8	10,22
На статический изгиб					
Выдержанная ель	14	92,8	74,0	169,9	25,41
Выдержанная сосна, ядровая	30	85,1	26,5	160,7	28,05
Выдержанная сосна, заболонь	15	78,7	26,5	117,9	30,21

Результаты расчетов статистических характеристик вышеуказанных групп выборок по K и по RGB-уровням представлены в таблице 5.

Таблица 5 — Основные статистические характеристики по акустической константе

№ группы	Наименование группы	Объем выборки, N	Среднее, $\times 10^{-3}$	Медиана, $\times 10^{-3}$	Минимум, $\times 10^{-3}$	Максимум, $\times 10^{-3}$	Дисперсия, $\times 10^{-3}$	Стандартное отклонение, $\times 10^{-3}$
1	Выдержанная древесина ели	40	11,60	11,39	10,42	13,23	0,614	0,784
2	Свежая древесина ели	10	9,51	9,50	9,23	9,80	0,059	0,244
3	Выдержанная древесина сосны (заболонь)	15	10,49	10,89	7,70	12,20	2,223	1,491
4	Свежая древесина сосны (заболонь)	10	10,10	10,00	9,89	10,52	0,064	0,253
5	Выдержанная древесина сосны (ядро)	30	10,00	10,30	7,73	11,77	1,442	1,201
6	Свежая древесина сосны (ядро)	10	10,32	10,21	9,86	10,81	0,163	0,403

Результаты исследования древесины половой и потолочной конструкций представлены в таблице 6.

Таблица 6 — Результаты измерений колориметрического метода

Образец	Средние значения цветовых уровней RGB			Акустическая константа K , м ⁴ /кгс
	(red)	(green)	(blue)	
Зона пола из выдержанной древесины ели				
ПОЛ 1-II E1	664,3	545,7	372,7	10,99
ПОЛ 1-II E2	624,4	495,8	323,2	12,03
ПОЛ 1-IV E1	616,1	529,2	358,9	13,20
ПОЛ 1-IV E2	696,1	580,2	402,9	13,40
ПОЛ 2-II E1	657,8	534,4	286,6	13,30
ПОЛ 2-II E2	683,1	558,5	379,4	12,34
ПОЛ 2-I E2	662,2	537,7	360,8	13,10
ПОЛ 2-I E3	667,2	543,2	370,1	13,60
Зона потолка из выдержанной древесины ели				
ПОТ 3-III E3	667,8	548,5	380,5	14,35
ПОТ 3-III E4	649,3	522,0	347,9	12,60
ПОТ 3-III E5	644,0	524,8	359,8	15,10
ПОТ 3-I E2	717,4	595,0	417,0	13,77
ПОТ 1-III E5	684,3	554	365,3	12,05
ПОТ 1-III E9	632,3	534,3	353	9,77
ПОТ 2-III E5	665,7	537	357,7	13,43
ПОТ 2-III E6	649,3	515,0	332	11,14
Зона потолка из выдержанной древесины сосны				
ПОТ 1-II C1	564,7	428,3	257,3	10,87
ПОТ 1-II C2	545,4	391,1	229,9	10,20
ПОТ 1-II C3	509,7	362,3	211,7	10,96

Основные статистические данные обработки образцов ели из половой конструкции представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Статистические данные испытаний образцов ели (половая конструкция домов)

Показатели	Объем выборки	Среднее значение	Сумма	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение
Разрушающая нагрузка, Н	60	2061,018	123661,1	1534,38	2567,19	260,3237
Предел прочности, Н/мм ²	60	6,726	403,5	3,836	101,0	12,3948
Плотность, кг/м ³	60	450,498	27029,9	344,057	525,952	34,1031
Акустическая константа K , м ⁴ /кгс	60	10,7	642,0	0,018	14,629	4,8209

Данные статистической обработки образцов ели из потолочной конструкции представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Статистические данные испытаний образцов ели и сосны
(потолочная конструкция домов)

Показатели	Объем вы- борки	Среднее значе- ние	Сумма	Мини- мальное значение	Максималь- ное значение	Стандарт- ное откло- нение
Разрушающая нагрузка, Н	60	1884,42	113076,8	760,94	3137,50	517,92
Предел прочности Н/мм ²	60	4,707	282,40	1,90	7,84	1,29
Плотность, кг/м ³	60	519,78	31186,50	342,35	4168,75	483,07
Акустическая константа К, м ⁴ /кгс	60	12,66	759,7	0,15	16,95	2,44

В работе сравнивались результаты исследований древесины стен с результатами исследования потолочной и половой конструкции. Установлено, что RGB-уровни выдержанных образцов по значениям ниже свежих (рисунок 2).

По средним значениям RGB-уровней аддитивных моделей выдержанной древесины ниже по отношению к свежей: красный – на 30,4 %, зеленый – на 37,4 %, синий – на 49,85 % (рисунок 3).

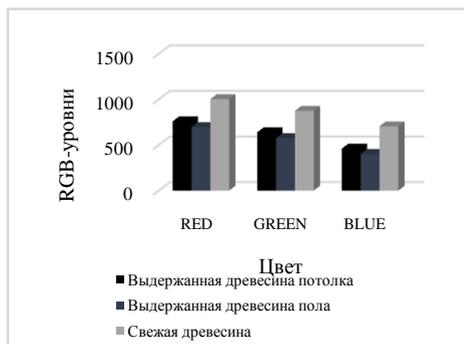


Рисунок 2 - Диаграммы RGB-уровней свежезаготовленной и выдержанной древесины потолка и пола

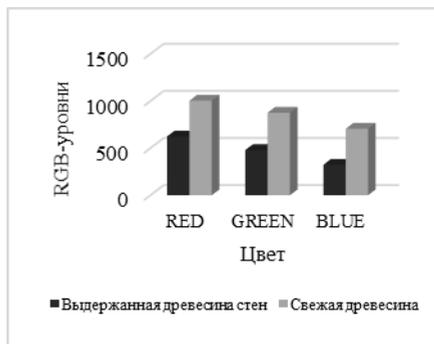


Рисунок 3 - Диаграммы RGB-уровней свежезаготовленной и выдержанной древесины из стеновой конструкции

В пятой главе представлено описание способа экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной древесины в стеновых элементах старого сооружения (патент РФ № 2665149) и способа экспресс-диагностики резонансных свойств древесины в потолочной конструкции старого сооружения (патент РФ № 2739928).

Экономический эффект целевого использования древесины в стеновом, потолочном и половом элементах конструкции исследованного объекта составляет 64,0 – 96,0 тыс. долларов с учетом его естественного износа и

приобретенных пороков строения древесины (преимущественно трещины усушки) в среднем 50 %.

В качестве рекомендаций предлагается стандарт организации «Методика отбора и испытаний резонансной выдержанной древесины из строений».

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

По результатам выполненной работы сделаны следующие основные выводы и даны практические рекомендации.

1. Установлено, что выдержанная древесина сосны и ели в сооружениях по акустическими физико-механическим свойствам отличается от свежезаготовленной по соответствующим значениям.

2. После долгого срока эксплуатации сооружения древесина с южных стороны света имеет более высокие прочностные показатели, чем у образцов, отобранных из стен, ориентированных на другие стороны света. У образцов древесины, отобранных с южной стороны сооружения среднее значение предела прочности при сжатии вдоль волокон составляет 59,9 МПа, что выше на 25%, а статический изгиб — 118 МПа, т.е. на 50 % выше по сравнению с образцами, взятыми с других сторон света.

3. Древесина, выдержанная в стенах, ориентированных на северную, восточную и западную стороны света, существенно не отличается по физико-механическим показателям.

4. При одних и тех же условиях естественного кондиционирования или хранения выдержанная древесина набирает меньшую устойчивую влажность по сравнению со свежей - в среднем на 2-4 %. Такая древесина приобретает стабильно высокие физико-механические показатели, включая жесткость, которая придает материалу лучшие резонансные свойства.

5. Наблюдается разница в изменении пределов прочности древесины на статический изгиб в процессе эксплуатации в зависимости от породы. Предел прочности древесины ели подвергся большему изменению и имеет более высокое значение, чем древесина сосны. Разница в изменении других механических показателей в течение эксплуатации в зависимости от породы не выявлена.

6. Среди исследуемых образцов по величине акустической константы была отнесена выдержанная древесина ели 35 %; заболонной сосны – 20 %. Древесина хвойных пород, выдержанная в старых сооружениях, может обладать более высокими акустическими свойствами по сравнению с свежезаготовленной.

7. Экспериментально установлено что по средним значениям уровни RGB аддитивных моделей выдержанной древесины по сравнению со свежеспиленной меньше на 64 % по красному цвету; на 57 % - по зеленому цвету; на 48 % - по синему цвету. Разница уровней по минимальным значениям незначительна, а по максимальным - существенна и равна 7 %. Также следует обратить внимание на многократную разницу по максимальным значениям и составляющую 7 %. У свежей древесины следует отметить большой размах

экспериментальных данных в выборках, что влияет на среднеквадратическое отклонение.

8. Цвет не играет роли ни для выдержанной, ни для свежей древесины в рамках одной породы или части дерева (заболонь, ядро), может изменяться только оттенок. Уровни RGB аддитивной цветовой модели ниже в среднем на 12 %. Колориметрические показатели выдержанной и свежей заболонной древесины сосны не имеют существенной разницы.

9. Значительной взаимосвязи между акустической константой и цветовыми показателями выдержанной древесины не установлено ($r < 0,3$). Следовательно, цвет выдержанной в данных условиях древесины имеет в большей мере эстетическое значение для музыкальных инструментов.

10. Старые сооружения после нормативного срока эксплуатации представляют собой до сих пор не используемый в масштабах страны источник резонансного сырья с уникальными акустическими и другими физико-механическими свойствами древесины. Экономический эффект от целевого использования древесины в стеновом, потолочном и половом элементах конструкции исследованного объекта - деревянного сооружения размерами 5,0×5,0×3,5 м из бревен средней толщиной 26 см - составил в пределах 64,0–96,0 тыс. долларов с учетом его естественного износа и приобретенных пороков строения древесины (преимущественно трещины усушки) в среднем 50 %.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

В зарубежных изданиях, входящих в базу Scopus

1. Fedyukov, V. Strength of aged wood in old constructions / Fedyukov, V., Chernov, V., Chernova M. // Journal of Applied Engineering Science, - 2020 № 18(1) - pp. 114-119.

2. Fedyukov V. Method for express diagnostics of resonant properties of wood aged in buildings/ Fedyukov V. I., Chernova M.S // Journal of Applied Engineering Science, - 2020 18(4) - pp.510 - 514.

В изданиях, рекомендованных ВАК

3. Федюков В.И. Резонансные акустические и колориметрические характеристики древесины из ретросооружений / В.И. Федюков, В.Ю. Чернов, М.С. Чернова, О.В. Цой // Изв. вузов. Лесной журнал. - 2022. - № 6. - С. 164–177.

4. Федюков В.И. Целевое использование резонансной древесины в старых сооружениях / В.И. Федюков, Е.Ю. Салдаева, М.С. Чернова // Стандарты и качество. - 2021. - № 7. - С. 52–55.

Патенты РФ

5. Пат. 2665149 Российская Федерация, МПК G01N 33/46 (2006/01). Способ для экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной в старых сооружениях древесины / Федюков В.И, Чернов В.Ю., Чернова М.С. — № 2017128246; заявл. 07.08.2017; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 25.

6. Пат. 2739928 Российская Федерация, МПК А01G 23/00 (2006.01), А01N 33/46 (2006.01). Способ экспресс-диагностики резонансных свойств древесины после долгого выдерживания в потолочной конструкции старых сооружений / Федюков В.И., Чернов В.Ю., Чернова М.С., Цой О.В.; заявитель и патентообладатель ПГТУ. — № 2020115277; заявл. 30.04.2020; опубл. 29.12.2020, Бюл. №1.– 8 с.

Другие издания

7. Неразрушающий способ для экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной в старых сооружениях древесины / В.И. Федюков, В.Ю. Чернов, М.С. Чернова, Н.А. Магальяс, О.В. Цой // Материалы VI Междунар. симпозиума имени Б.Н. Уголева «Строение, свойства и качество древесины». - Красноярск, 2018. - С. 204-208.

8. Федюков, В.И., Колориметрические особенности выдержанной в старых сооружениях древесины / В.И. Федюков, В.Ю. Чернов, М.С. Чернова // Материалы VI Междунар. симпозиума имени Б.Н. Уголева «Строение, свойства и качество древесины». — Красноярск, 2018. — С. 208-211.

9. Цой, О.В. Анализ методов исследования колориметрических показателей свежей и выдержанной древесины ели / О.В. Цой, М.С. Чернова, В.И. Федюков // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы IV Всероссийской студенческой конференции (Йошкар-Ола, 20-23 ноября 2018 г.): в 8 ч. Часть 2: Идеи и решения для инновационного развития лесных и лесоперерабатывающих технологий. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – С.156-158.

10. Цой, О.В. Анализ способов совершенствования определения колориметрических показателей древесины / О.В. Цой, М.С. Чернова, В.Ю. Чернов // Стратегии развития региона на основе модернизации приоритетных отраслей его экономики: материалы III Междун. науч.-практ. конф. (Йошкар-Ола, 21-22 мая, 2019 г.). – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. - С. 209-213.

11. Стандартизация неразрушающих методов диагностики технического качества древесины на корню, в сортиментах и конструкциях деревянного сооружения / В.И. Федюков, В.Ю. Чернов, М.С. Чернова, Е.Ю. Салдаева // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы IV Международной научно-практической конференции (Кострома, 8-11 сентября, 2021 г.). – Кострома: КГУ, 2021. - С. 191-194.

12. Цой, О.В. К вопросу о применении терминологии состаренной древесины / О.В. Цой, М.С. Чернова, В.Ю. Чернов, В.И. Федюков // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве: сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Екатеринбург, 20 мая 2020 г. / ФГАОУ ВО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т». Екатеринбург, 2020, С.50-53, 2020 г.

13. Цой, О.В. Использование терминологии «состаренная древесины» / О.В. Цой, М.С. Чернова, В.Ю. Чернов // Стратегии развития региона на основе модернизации приоритетных отраслей его экономики: материалы IV Международной научно-практической конференции (Йошкар-Ола, 29-30 мая, 2020 г.). – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2020. - с. 103-106.

14. Чернова, М.С. Анализ устройств для исследования резонансных свойств древесины / М.С. Чернова, О.В. Цой, В.Ю. Чернов // Стратегии развития региона на основе модернизации приоритетных отраслей его экономики: материалы III Международной научно-практической конференции (Йошкар-Ола, 21-22 мая, 2019 г.). – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. - С. 214-217.

15. Чернова, М.С. Пути повышения точности определения колориметрических свойств древесины / М.С. Чернова, О.В. Цой, В.Ю. Чернов // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы V Всероссийской студенческой конференции (Йошкар-Ола, 5-8 ноября 2019 г.): в 8 ч. Часть 2: Идеи и решения для инновационного развития лесных и лесоперерабатывающих технологий. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. – С.108-110.

16. Чернова, М.С. Анализ влияния расположения древесины относительно сторон света в старых деревянных постройках / М.С. Чернова, О.В. Цой, В.И. Федюков // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы V Всероссийской студенческой конференции (Йошкар-Ола, 5-8 ноября 2019 г.): в 8 ч. Часть 2: Идеи и решения для инновационного развития лесных и лесоперерабатывающих технологий. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. – С.105-108.

17. О влиянии сторон света на механические свойства древесины при ее эксплуатации / М.С. Чернова, О.В. Цой, В.И. Федюков, В. Ю. Чернов // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики регионов России: материалы VII Междун. науч.-практ. конфер. молодых преподавателей, аспирантов и студентов. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2020. - С. 113-115.

18. Чернова, М.С. Об эффективности изготовления резонансных заготовок из древесины после долгой эксплуатации в разных конструкциях старого сооружения / М.С. Чернова // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы IV Международной научно-практической конференции (Кострома, 8-11 сентября, 2021 г.). – Кострома: КГУ, 2021. - С. 202-204.

Просим принять участие в работе диссертационного совета 24.2.285.01 или прислать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, ауд. 146, учёному секретарю.

Подписано в печать

Формат 60×84 1/16. Объем 0,93 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 18580.

Отпечатано в ООО «Принтекс»

424003, РМЭ, г. Йошкар-Ола, ул. Суворова, д. 15А, каб. 204