

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

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Йошкар-Ола – 2023

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

Научный руководитель доктор технических наук, профессор Федюков Владимир Ильич

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ ..	12
1.1 История использования древесины после долгой эксплуатации в зданиях и сооружениях.....	12
1.2 Современный рынок и перспективные регионы для получения резонансного сырья в старых сооружениях и зданиях	13
1.3 Аналитический обзор работ в области исследования резонансных и физико-механических свойств состаренной древесины в зданиях и сооружениях.....	16
1.4 Выводы	23
2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ И КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫДЕРЖАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ И ВЫБОР ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ	26
2.1 Теоретические предпосылки к исследуемому вопросу.....	26
2.1.1 Выбор древесной породы и лесорастительного региона для отбора древесины в старых сооружениях с целью изготовления резонансных заготовок	26
2.1.2 Акустическая константа и резонансные свойства древесины...	28
2.1.3 Определение плотности и модуля упругости древесины в процессе эксплуатации.....	29
2.1.4 Прогнозирование акустической константы и скорости распространения продольной ультразвуковой волны.....	34
2.2 Прогнозирование колориметрических свойств выдержанной древесины ели.....	38
2.3 Выводы.....	41
3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	42
3.1 Характеристика объекта исследований и методика отбора	

образцов древесины.....	42
3.2 Методика экспериментальных исследований древесины.....	51
3.2.1 Исследование физико-механических свойств древесины.....	51
3.2.2 Исследование акустических свойств древесины.....	52
3.2.3 Исследование колориметрических свойств древесины	52
3.3 Выводы.....	53
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	54
4.1 Результаты исследований акустических и физико-механических свойств древесины в стеновых элементах сооружения	54
4.2 Результаты исследований акустических и физико-механических свойства древесины ели и сосны в потолочных и половых частях сооружения.....	60
4.3 Результаты исследования по выявлению взаимосвязи акустических и колориметрических показателей древесины.....	63
4.4 Выводы.....	77
5 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	79
5.1 Способ экспресс-диагностики резонансных свойств Выдержанной древесины в стеновых элементах старого сооружения.....	79
5.2 Способ экспресс-диагностики резонансных свойств древесины в потолочной конструкции старого сооружения.....	79
5.3 Техничко-экономическое обоснование получения резонансных заготовок из разных частей старого сооружения.....	80
5.4 Выводы.....	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	84
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	87
Приложение А Результаты ультразвуковых исследований выдержанной древесины.....	98

Приложение Б Результаты ультразвуковых исследований свежей древесины.....	103
Приложение В Результаты колориметрических исследований.....	105
Приложение Г Проект стандарта организации	109
Приложение Д Патент на изобретение «Способ для экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной в старых сооружениях древесины»	120
Приложение Е Патент на изобретение «Способ экспресс-диагностики резонансных свойств древесины после долгого выдерживания в потолочной конструкции старых сооружений»	122
Приложение Ж Акт использования результатов научных исследований в учебном процессе	124
Приложение З Акт внедрения результатов диссертационной работы	125

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Для музыкальной промышленности как в России, так и зарубежомодной из проблем на сегодняшний день является недостаточное количество резонансной древесины, обладающей акустическими свойствами. Требуется поиск различных вариантов для ее нахождения. Потребность в резонансных сортах помимо производства музыкальных инструментов высока и в изготовлении акустических панелей для театров, консерваторий. Например, Государственный Большой Театр России именно за счет лучших акустических показателей обшивки внутренних стен зрительного зала резонансной древесиной включен в список уникальных объектов ЮНЕСКО.

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 на мировом уровне дошла до 30-50 - тыс. \$ США.

В России проблема обеспечения резонансным материалом усугубляется тем, что в последние годы резко сокращаются эксплуатационные насаждения ели под пагубным действием короеда- типографа (*Ipstypographus L.*), 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 32429 заброшенных поселках, деревнях и селах; по самым скромным расчетам, общий объем неиспользуемой здесь древесины составляет не менее 500,0 тыс. 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. Тулузаков, 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. Niemz, E. Obataya, Miyuki Matsuo, G. Blskova, N. Brdarov, R. She, и др.

На сегодняшний день мало работ посвящено исследованию свежесрубленной и высушенной древесины как в пиломатериалах, так и в сооружениях разрушающими 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.

Существенным 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 требова-

ния 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 и 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 статисти-

ческого 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 кваллиметрическая 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 кваллиметрии 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 наладил

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.

1 Состояние вопроса, цель и задачи исследований

1.1 История использования древесины после долгой эксплуатации в зданиях и сооружениях

Особую ценность старой древесины знали издревле строители и мастера иконописи, знающие способы ее рационального и целевого использования. Чаще всего при строительстве новой церкви старались использовать здоровую древесину из разобранных церквей, не пострадавших при эксплуатации. Известны случаи, когда иконы, попавшие под пожар, очищали от обгоревшей краски и снова наносили новый образ, т.е. можно утверждать о повторном использовании древесины. Старую древесину иконописцы ценили за малое коробление и усадку [42].

Одна из записей в суздальской газете 1879 года описывает промысел по сбору старых досок. Тогда по всей России было собрано свыше 28 тыс. досок [33]. Специальные группы людей готовили, выдерживали в течение 15 лет с градацией 5 лет для живописцев, резчиков древесину. Чем дольше выдерживалась древесина, тем больше была ее стоимость [29].

Повторное использование такого материала (а именно после длительного выдерживания в естественных условиях) оказывает значительное влияние на изменение содержания органических веществ в древесине, из-за чего происходит изменение физико-механических и акустических свойств [30, 47, 53, 79].

Полученный таким образом материал необходим в производстве музыкальных инструментов [4, 53]. Например, такие известные мастера по изготовлению скрипок как Страдивари, Гварнери, Амати и другие использовали древесину ели, выдержанную более 14 лет [4, 27, 69, 76].

Выдержанная в естественных условиях древесина лучше подходит для

музыкальных инструментов за счет способности обеспечить более стабильные звуковые спектры при изменении условий среды [26, 52, 69].

История сохранила немаловажный факт: великий Страдивари материал для изготовления уникальных, до сих пор не превзойденных по тембру звучания скрипок отбирал из старых сооружений и даже деревянных заборов своим, известным только ему методом «неразрушающей диагностики» — путем простукивания деревянной же палкой[4].

В ряде зарубежных стран научные разработки по искусственному старению древесины начали проводить в 60-х годах прошлого века [29].

В России также проводились опыты по искусственному старению резонансной древесины ели для возможности изготовления музыкальных инструментов. Суть одного из немногих способов заключалась в том, что в течение двух суток древесина выдерживалась при температуре 110-120° градусов, а после обрабатывалась 15% раствором перекиси водорода еще почти сутки [29, 39].

Также применялось сверхвысококачественное излучение для улучшения резонансных свойств древесины[18].

Недостатком данных способом является их высокие материальные затраты и, главное, пока нет научно-практических доказательств превосходства акустического качества материала после искусственного старения по сравнению с продолжительным выдерживанием древесины в естественных условиях.

1.2 Современный рынок и перспективные регионы для получения резонансного сырья в старых сооружениях и зданиях

Основным заказчиком для заготовки резонансной древесины является производство музыкальных инструментов, широко используемых в культуре. В рамках национального проекта «Культура» по Указу Президента РФ до

2024 года необходимо обеспечить музыкальные и образовательные организации в достаточном количестве музыкальными инструментами. За 2017-2020 годы по отчетам Росстата увеличивается производство музыкальных инструментов. В 2021 году объем составил около 6 млрд. руб.

Хотя на рынке сегодня представлено 75 отечественных производителей, но они обеспечивают менее 10% объема рынка музыкальных инструментов, остальную часть выполняют импортеры. Наиболее крупными российскими предприятиями в этой отрасли являются: ООО «ФРП «Аккорд» (объем отгрузки 169 млн руб.), ООО «Тульская гармонь» (145 млн руб.), ООО «Рав-Лабз» (120 млн руб.), ООО «Нева-Саунд» (112 млн руб.), ПАО «Октава» (78 млн руб.) [34].

Следует отметить, что обеспеченность музыкальными инструментами находится на низком уровне. Многие отечественные и зарубежные производители музыкальных инструментов связывают это в том числе и с отсутствием качественного резонансного материала.

С развитием строительства театров и консерваторий, проведением реконструкционных работ возрастает потребность в резонансной древесине для акустических панелей [46].

С учетом реализации политики импортозамещения можно прогнозировать стабильный спрос на музыкальные инструменты со стороны государства и населения; соответственно, дефицит резонансной древесины будет остро возрастать.

Несмотря на это, в нашей стране не развита и отсутствует переработка и повторное использование выдержанной древесины из сооружений. За счет данной практики возможно повысить рациональное природопользование, улучшить экологическую обстановку, а также углубить исследования о возможности повторно использовать данную древесину на территории страны.

В странах Европы используется термин «амбарная доска» (*англ. barnboard*). Это выдержанная в старых сооружениях более 100 лет дре-

весина. Она ценится за прочностные показатели древесины, проверенные временем [59, 60].

В России перспективными для получения резонансного сырья в старых сооружениях и зданиях предположительно являются лесорастительные зоны тайги и часть южной тайги, где произрастают еловые насаждения и, соответственно, основным строительным материалом является древесина ели; в относительно суровых условиях с коротким вегетационным периодом у деревьев формируются, как правило, узкие годичные слои с низким содержанием в них поздней древесины, что является отличительной чертой резонансной древесины ели; конкретнее: ширина годичного слоя допускается в пределах 1,0-4,0 мм, а процент поздней древесины— не более 30%.

Проведенные в ходе экспедиций комплексные исследования таежных лесов Удмуртии, Пермской и Кировской областей выявлена древесина ели с соответствующей макроструктурой и с уникальными акустическими показателями [35, 49].

Кроме того, особую ценность здешних мест играют старые сооружения, изготовленных преимущественно из еловых бревен. Со значительной долей вероятности можно прогнозировать наличие в них резонансной древесины.

В связи с этим практический интерес представляют также северные леса страны. Это подтверждается результатами ранее выполненных научных изысканий. Например, акад. И.С. Мелехов, проведя экспедиционные исследования еще в 30-х годах прошлого века доказал наличие резонансной формы ели в насаждениях Вологодской области [19].

Позднее в исследованиях древесины ели Архангельской и Вологодской областей В.И. Онегиным были выявлены закономерности формирования строения резонансной древесины за счет упорядоченного анатомического строения [21].

Северная часть Республики Марий Эл, где выполнялась настоящая работа, по лесорастительным условиям входит в зону южной тайги с еловыми насаждениями, и, соответственно, основным строительным материалом здесь является древесина ели и в меньшей мере— сосны.

Важно отметить, что в этих лесах ранее также были выявлены запасы резонансной древесины[15]; следовательно, данный регион также можно включить в число перспективных для получения резонансной древесины из старых зданий и сооружений после превышения нормативного срока их эксплуатации.

1.3 Аналитический обзор работ в области исследования резонансных и физико-механических свойств состаренной древесины в зданиях и сооружениях

Резонансные свойства древесины до недавнего времени исследовались разрушающими методами как в нашей стране [14, 39, 40, 43, 46, 49], так и за рубежом [68, 69, 74, 75, 79, 80]. Например, действующий ГОСТ 16483.31-74[10] для определения модуля упругости и декремента (характеристика резонансных свойств древесины) также направлен на разрушающий метод, предусматривающий изготовление из срубленного дерева образцы в форме прямоугольного бруска размерами 20×20×300 мм.

В производственных условиях отбор резонансного сырья проводится, как правило, методом «на глаз», то есть визуально определяют нужную породу (преимущественно ель, а в отдельных случаях это пихта кавказская и кедр сибирский), размеры, макроструктуру древесины и отсутствие пороков (сорт).

В последние годы в Лаборатории квалитметрии древесины ПГТУ разработаны неразрушающие методы для определения резонансных свойств древесины взрослых деревьев на корню [50, 69], так и в раннем возрасте в ста-

дии подроста и молодняков [48]; мировой приоритет на методы и технические средства для их осуществления указан патентами на изобретение [23, 24].

В настоящее время французские [74, 75] и болгарские ученые проводят работы по исследованию резонансных свойств в растущих деревьях.

В фундаментальной работе И.И. Пищика, представлены результаты исследования свойств древесины после длительной выдержки. Данный материал ценится как материал для изготовления музыкальных инструментов, доказаны акустические преимущества состаренной в сооружениях древесины по сравнению со свежесрубленной и высушенной традиционными способами, а именно: «...музыкальные инструменты, изготовленные из такого материала, способны издавать более стабильные звуковые спектры при изменении условий внешней среды» [32].

Это еще раз подтверждает многолетний практический опыт: для изготовления дек скрипок используют древесину выдержанную свыше 50 лет в естественных условиях [33]; хотя, по данным И.И. Пищика, значения акустической константы K (основной критерий резонансных свойств) у состаренной и свежей древесины примерно одинаковы.

Основными химическими компонентами, составляющими стенки клеток древесины, являются целлюлоза, лигнин и гемицеллюлозы. При изменении температурно-влажностного режима окружающей среды, как известно, меняется относительное содержание органических веществ; особенно сильно уменьшается доля пентозанов и гексозанов, что существенно отражается на физико-механических свойствах этого материала. При этом важно иметь в виду, что в естественных условиях в древесине повышается относительная доля лигнина с течением времени, а, следовательно, и повышается модуль упругости [2, 28, 65, 67, 70, 78].

Древесина наиболее стабильна при хранении в помещении при сухом воздухе. В работе [76] приведены исследования химического состава (цел-

люлозы, лигнина и пентозанов) двух образцов состарившейся ели. Один из образцов хранился 60 лет, а другой служил конструктивным элементом здания. Оба находились в помещении. Исследования показали небольшую разницу между данными образцами. В данной работе также приведены более поздние исследования можжевельника красноплодного (*Juniperus phoenicea*), сосны итальянской (*Pinus pinea*) и акации нильской (*Acacia nilotica*), найденные в пирамидах Египта. Примерный возраст образцов составлял от 4100 до 4400 лет по данным радиоуглеродного датирования. Анализ показал более высокое содержание холоцеллюлозы и более низкое содержание лигнина в состаренных образцах.

На уровне фундаментальной науки это подтверждается тем, что здесь в течение многих десятилетий происходят определенные процессы массотеплообмена, формирующие специфические по сравнению со свежей древесиной новые технические свойства этого материала.

В работе [77] на основе аналитического обзора имеющихся к настоящему времени научно-практических результатов приводится отмечается: «Во многих случаях старение древесины можно сравнить с эффектом низкой термической обработки в диапазоне примерно от 100 до 150°C, которая используется для имитации ускоренного старения».

Однако старение древесины в зданиях и сооружениях происходит под воздействием не только температуры, но одновременно и влажности окружающей среды, и солнечной радиации. Поэтому будет правильнее визуализировать состаренную таким образом древесину как результат продолжительного гидротермического процесса с «мягким» режимом, обеспечиваемым путем поддержания соответствующего теплового баланса внутри помещений, а снаружи — чередованием температурно-влажностного и ветрового режима, а также солнечной радиации.

Искусственным модифицированием древесины занимались и продолжают заниматься ученые и специалисты многих стран. В нашей стране и за

рубежом накоплен большой опыт модифицирования как процесса целенаправленного изменения свойств древесины путем термического, термомеханического, химического, химико-механического, термо- и радиационно-химического и других видов воздействия; при этом ставятся задачи повышения прочности, долговечности, цвета и других показателей натуральной древесины, причем чаще малоценных лиственных пород [40].

В этом аспекте важное научно-практическое значение имеет фундаментальная работа проф. В.А. Шамаева по разработке научных основ химико-механического модифицирования древесины [64], а также доц. Г.А. Горбачевой по исследованию изменений в структуре термически модифицированной древесины [66, 81].

В тоже время пока отсутствуют исследования, направленные на модифицирование древесины хвойных пород с целью повышения ее резонансных свойств.

Важное значение как в эксплуатации сооружений, так и при повторном использовании материала имеет биостойкость древесины против гниения. В этом аспекте большой практический интерес представляют результаты исследований, выполненные под руководством В.И. Мелехова. В его работе проведен анализ влияния внешних воздействующих факторов, а именно температура, влажность, длительность действия и характер приложения нагрузки, реологические свойства), влияние условий эксплуатации на сохранность древесины в сооружениях, в зависимости от места произрастания, породы древесины, строения и пороков [18, 38, 44].

В работах J. Froidevaux, P. Navi с соавторами (Швейцария) представлены результаты исследования древесины ели, в которых они пришли к выводам, что в процессе старения древесины возможно прогнозировать и влиять на изменение свойств древесины за счет изменения температуры и давления окружающей среды. Это связано со структурными изменениями в стеклообразном состоянии и внутренних напряжений в древесине. [72,

73]. Строительные конструкции, находящиеся длительное время в подобных условиях это подтверждают.

Физико-механические свойства состаренной в зданиях и сооружениях изучали и продолжают изучать российские [3, 14] и зарубежные ученые и специалисты [75, 80].

Обширный и глубокий аналитический анализ результатов исследований в этой области приводится в работе Т.А. Никитиной [38].

Автор впервые ввела понятие «ретродревеси́ны» состаренной в зданиях и сооружениях, а диссертация имеет комплексный характер: помимо обширного аналитического анализа работ отечественных и зарубежных ученых, здесь приводятся результаты собственных исследований по определению прочностных и деформационных характеристик ретродревеси́ны и, главное, даны предложения для дальнейшего использования элементов из древесины войны пород свыше нормативного срока эксплуатации.

Следует отметить, что полученные отечественными и зарубежными учеными результаты исследований физико-механических свойств древесины после длительной эксплуатации в зданиях и сооружениях имеют противоречивый характер.

Одни авторы ссылаются на результаты, в которых отмечается увеличение физико-механических показателей, плотности, модуля упругости в старой древесине по сравнению со свежезаготовленной в лиственных и хвойных породах [12, 15, 17, 43].

Между тем в некоторых работах приводятся и противоположные данные [1, 33, 54]. Например, исследования в срубе древесины лиственницы возрастом более 100 лет показывают уменьшение прочностных показателей [15]. Изучение элементов деревянных зданий возрастом 75-100 лет [33] установило, что в древесине после длительной эксплуатации снижается прочность при сжатии и изгибе на 10%, а при растяжении до 20% и скалывании — до 30% по сравнению со стандартными данными [74, 79]. Подобный характер сни-

жения прочности состаренной древесины приводится и в трудах зарубежных ученых.

Н.Г. Пономарева, В.И. Мелехов, Б.В. Лабудин и другие ученые Северного Арктического федерального университета имени М.В. Ломоносова выполнили комплексные исследования прочности ретродревесины [37, 38].

Важно отметить, что учёными Воронежского государственного технического университета Г.Д. Шмелевым, Е.А. Крючковой и А.К. Епишевой по результатам комплексных исследований в 2019 году обоснована возможность повторного использования строительных материалов и конструкций, включая древесину [65].

На основе сравнительного анализа работ, выполненных разными авторами, И.И. Пищик пришел к выводу, что на сохранность древесины в старых сооружениях влияют определённые условия, созданные природой. [33].

Вполне возможно, что большой разброс полученных разными авторами результатов исследований объясняется особенностями лесорастительных и природно-климатических условий, действующих на формирование самой древесины и изменение ее свойств при длительной эксплуатации сооружений в разных географических регионах.

Известно, что цветовые характеристики служат одним из критериев отбора резонансной древесины, служащей материалов при изготовлении деки струнных музыкальных; помимо высоких акустических свойств, она должна обеспечить приятное эстетическое восприятие внешнего вида инструмента, например, скрипки, гитары и т.д.

Следовательно, установление взаимосвязи акустических и колориметрических показателей состаренной в сооружениях древесины имеет большое научное и практическое значения.

Исследования основаны на традиционных методах колориметрии — установлении чистоты, светлоты, цветового тона; для этого используются фотометрические колориметры и/или атласы цветов.

Выполненные проф. Б.Н. Уголевым исследования с помощью атласов цветов показали, что древесина в течение 5-20 лет имеет малое отличие по цветовому тону. Длина волны соответствует желтому участку спектра. Можно отметить большой разброс по показателям чистоты цвета (30-60%) и светлоты (20-70%) [45].

Важно иметь в виду, что эти результаты получены на образцах из учебной коллекции МГУЛ, то есть выдержанных в комнатно-сухих условиях. Следовательно, их нельзя принять за репрезентативные показатели по отношению к выдержанной значительно долгое время древесине в сооружениях под действием комплекса других природно-климатических факторов: температурно-влажностный и ветровой режим, солнечная радиация и др.

К тому же определение цвета материала атласным методом не может обеспечить высокую точность ввиду субъективного восприятия.

Для изготовления деки многие мастера пригодность резонансного материала оценивают субъективным определением цвета: может использоваться древесина ели и светлая, и желтая [16]. У ученых нет единого заключения об использовании цвета древесины для возможности определения ее акустических свойств.

В нормативных документах России ранее указывался «желтый приемлемый» цвет древесины ели, в Польше — белый для ели, пихты, а в Германии — «однотонно светлый» [18].

Поскольку не исследованы взаимосвязи между цветом древесины и акустическими свойствами отсутствуют методики для определения этой зависимости, то среди ученых и специалистов по изготовлению музыкальных инструментов не будет единого мнения.

Поэтому большое научное и практическое значение имеет проведение комплексных испытаний акустических и других физико-механических свойств древесины (плотность и показатели прочности) во взаимосвязи и за-

висимости от места расположения в элементах конструкции старого сооружения.

Особое практическое значение имеет проведение исследований древесины в старых сооружениях через ее акустику. Это обосновано тем, что действующий ГОСТ 9463-88 предусматривает лишь визуальный метод отбора резонансного материала по внешним размерно-качественным параметрам сортимента, а именно: ограничивает норму допуска видимых пороков, ширину годичных слоев, содержание в них поздней древесины.

Понятно, что существующий метод отбора резонансного материала можно применять лишь для осуществления входного контроля качества сырья и/или предположительного заключения о лесных насаждениях, где можно найти деревья с резонансной древесиной.

Без определения акустических показателей невозможно гарантировать необходимое качество резонансных сортиментов, особенно для изготовления заказных музыкальных инструментов с уникальным звучанием.

С динамикой колориметрических показателей тесно сопряжено изменение всех основных физико-механических и, что особенно важно для получения резонансных сортиментов, – акустики древесины.

Следовательно, для выявления качества резонансной древесины после длительной эксплуатации в зданиях и сооружениях важное научно-практическое значение имеют комплексные исследования, направленные на выявление взаимосвязей колориметрических и акустических показателей древесины; причем, подобные исследования должны проводиться индивидуально для каждого элемента конструкции- потолок, пол и стены.

1.4 Выводы

1. Древесина, подвергшаяся длительному выдерживанию в естественных условиях, отличается от свежей содержанием органических веществ, влияющих на акустические и физико-механические свойства.

2. Выдержанная в естественных условиях резонансная древесина за счет способности издавать стабильные звуковые спектры лучше подходит для изготовления музыкальных инструментов.

3. Несмотря на дефицит качественного резонансного лесоматериала, отсутствует технология переработки выдержанной древесины для экспорта заготовок по ценам, многократно превышающим цены на обычные лесоматериалы, в нашей стране не развита; одной из основных причин в этом является отсутствие научно-технической и нормативно-методической базы, а также недостаточный объем научных исследований резонансных свойств древесины в сооружениях и зданиях после нормативных сроков их эксплуатации на всей территории Российской Федерации; в первую очередь это касается таежных лесорастительных регионов, где основным строительным материалом издревле является древесина хвойных пород.

4. В нормативно-технической документации, действующих стандартах недостает требований для резонансной выдержанной древесины и неразрушающих методов ее диагностики.

На основании полученных результатов сформулирована цель работы – комплексные исследования и рационально-целевое использование резонансной древесины после длительной эксплуатации в сооружениях.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- 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 Стандарт организации для отбора и испытаний резонансной выдержанной древесины из строений.

2 Теоретическое обоснование акустических и колориметрических показателей выдержанной древесины и выбор объекта исследования

2.1 Теоретические предпосылки к исследуемому вопросу

2.1.1 Выбор древесной породы и лесорастительного региона для отбора древесины в старых сооружениях с целью изготовления резонансных заготовок

Древесина ели является основным материалом для изготовления деки струнных музыкальных инструментов. Основным материалом служит древесина ели. В лесах России произрастают деревья двух видов этой древесной породы: ель обыкновенная (*Piceaabies*) и ель сибирская (*Piceaobovata*).

Согласно ГОСТ 9463—88 «Лесоматериалы хвойных пород», в производстве резонансных заготовок допускается использование древесины и других хвойных пород, включая кедр сибирский или сосну кедровую сибирскую (*Pinussibirica*) и пихту кавказскую (*Abiesnordmanniana*).

Кроме этих пород в ряде случаев, например, для производства акустических панелей зрительных залов консерваторий, театров и т.д., используется и древесина сосны обыкновенной (*Pinussylvestris*). Даже великий Страдивари в начальном периоде своего творчества для изготовления скрипок использовал древесину этой породы [49].

Древесина хвойных пород благодаря ее макро- и микростроению отличается более высокими акустическими свойствами по сравнению с лиственными и может служить для изготовления музыкальных инструментов [49].

В настоящее время доказано, что в формировании особых акустических свойств резонансной древесины решающую роль играет взаимопроницаемость клеток трахеид и сердцевинных лучей, расположенных вдоль и поперек волокон древесины хвойных пород. К тому же, благодаря относительно про-

стому анатомическому строению древесина хвойных пород имеет высокую звукопроводимость; например, скорость распространения звука при продольных колебаниях в древесине хвойных пород достигает 6000,0 м/с, а у лиственных – до 5500,0 м/с.

В связи с этим важно отметить связь акустических свойств с органическим составом древесины — содержанием целлюлозы, пентозанов, гексозанов, лигнина, смолистых веществ. Например, существует положительная связь между продольной акустической константой и содержанием целлюлозы; смолистые вещества, наоборот, играют отрицательную роль в формировании акустических свойств материала [49].

В результате долгого выдерживания древесины в естественных условиях, например, в деревянных сооружениях, органический состав не остается постоянным и, соответственно, изменяются и акустические (резонансные) свойства древесины. Причем характер таких изменений отличается в зависимости от воздействия природно-климатических факторов в конкретных географических регионах.

Помимо породы дерева на практике к древесине для выработки резонансных заготовок предъявляются дополнительные, весьма жесткие требования и по макроструктуре: четко установлена ширина годичных слоев 1- 4 мм, содержание поздней древесины – не более 30%.

Деревья указанных пород формируют древесину с такими показателями далеко не во всех лесорастительных условиях, а только в регионах с относительно коротким сроком вегетации и, что не менее важно, произрастающие на небогатых почвах темнохвойных таежных лесов.

Например, исследованиями акад. И.С. Мелехова еще в 30-х годах прошлого века были выявлены запасы резонансной древесины ели в лесах Вологодской области [19]. Более поздние научные данные подтвердили наличие резонансной формы ели в лесах Камско–Волжского региона, включая Киров-

скую, Пермскую области и северную часть Республики Марий Эл, примыкающая к Кировской области [49].

Как правило, основным строительным материалом в этих регионах издревле являлась древесина хвойных пород.

В настоящее время сохранившиеся здесь старые дома и сооружения представляют собой важный объект для проведения фундаментальных и прикладных научных исследований с целью выявления в них потенциальных запасов резонансного материала.

2.1.2 Акустическая константа и резонансные свойства древесины

Одним из основных признанных расчетных методов определения акустических свойств древесины является метод определения акустической константы K , разработанный и внедренный российским и советским физиком, специалистом в области акустики, основателем научной школы акустики академиком Николаем Николаевичем Андреевым

$$K = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}} = \frac{c}{\rho}, \quad (2.1)$$

где E — динамический модуль упругости, Н/м²;

ρ — плотность древесины, кг/м³;

c — звукопроводность (скорость звука) в древесине, м/с [45].

Для определения непосредственно резонансных свойств (возможностей древесины) был установлен минимальный нормированный показатель акустической константы, который равен 12 м⁴/кг·с [45].

Как видно из приведенной формулы, для выявления свойств древесины требуется определение не только скорости звука в древесине, но и ее плотности.

2.1.3 Определение плотности и модуля упругости древесины в процессе эксплуатации

Анализ научно-исследовательских работ, представленный в первой главе показал, что показатели плотности, скорости звука и динамического модуля упругости у конструктивной древесины в зданиях и сооружениях варьируются в зависимости от срока эксплуатации. В работе И. И. Пищика [33] представлены графические данные изменения модуля упругости и акустической константы в зависимости от возраста заготовки древесины, которые представлены в виде синусоидальных кривых.

Для теоретического расчета акустической константы необходимо разработать математическую модель, учитывающую изменение плотности, модуля упругости и скорости распространения продольной ультразвуковой волны.

В качестве исходных данных приняты численные данные, полученные в работе [79] при исследовании выдержанной (*Piceaabies*) в зданиях и сооружениях древесины ели (таблица 2.1). География образцов — Швейцария, Германия и Чехия.

Таблица 2.1 — Усредненные экспериментальные данные в зависимости от возраста древесины

№ п/п	Возраст древесины, лет	Плотность, кг/м ³	Динамический модуль упругости, МПа
1	0 (свежезаготовленная, начало эксплуатации)	470	12983
2		500	20293
3	90	470	17852
4	120	480	20575
5	150	420	15902
6		410	13572
7	250	500	19008

Если принять в расчет, что закономерность носит синусоидальный характер, то для определенного года заготовки (начала использования) древесины будут иметь свои значения плотности и модуля упругости. В этом случае наиболее правильно выполнить привязку не к возрасту (сроку эксплуатации или выдержки) древесины, а к интервалу времени, представленного календарными годами (таблица 2.2).

Таблица 2.2— Исходные (экспериментальные) данные в зависимости от года начала эксплуатации

№ п/п	Год начала эксплуатации	Плотность, кг/м ³	Динамический модуль упругости, МПа
1	2010	470	12983
2		500	20293
3	1920	470	17852
4	1890	480	20575
5	1860	420	15902
6		410	13572
7	1760	500	19008

Ниже на рисунках 2.1-2.2 представлены закономерности изменения плотности и динамического модуля упругости по годам.

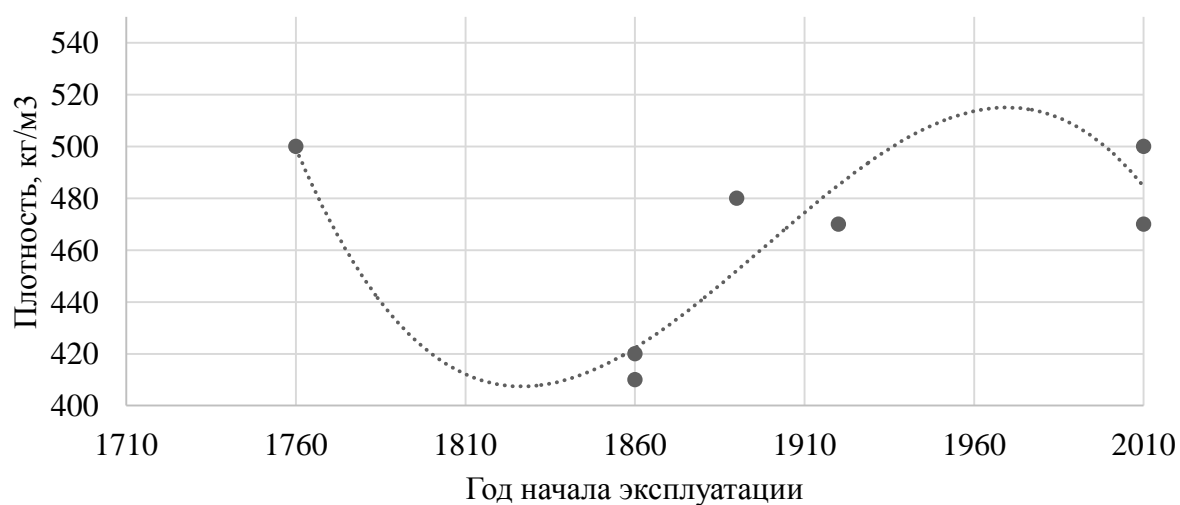


Рисунок 2.1— Плотность древесины ели в зависимости от года начала эксплуатации

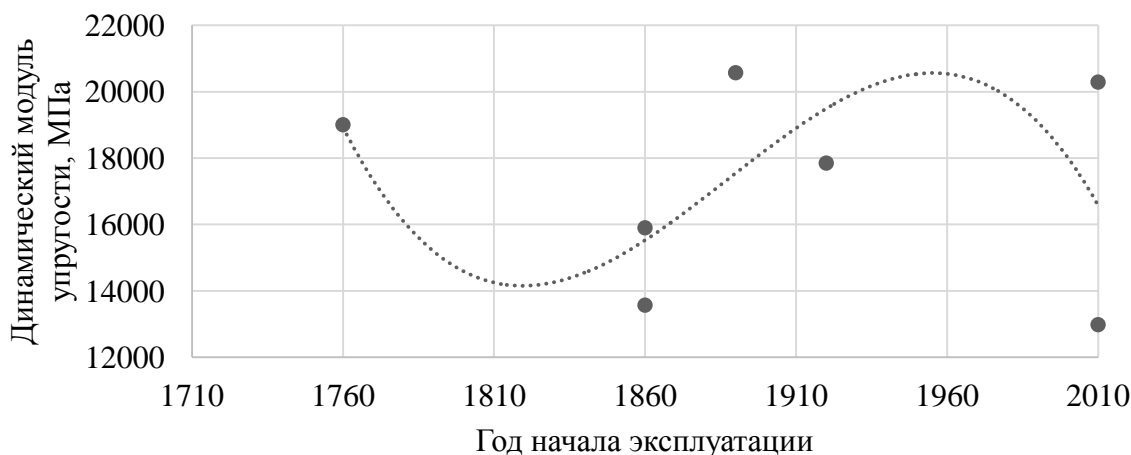


Рисунок 2.2— Динамический модуль упругости древесины ели в зависимости от года начала эксплуатации

Как в зависимости от вида, так и в пределах одного вида и даже одного дерева наблюдается вариативность свойств древесины. Поэтому для определения величины изменения в абсолютной и в относительной величине взяты справочные данные плотности и модуля упругости невыдержанной (свежезаготовленной) ели, наиболее близкой по условиям произрастания к образцам [78], а именно в карпатской, украинской и белорусской областях (таблица 2.3). Эти значения принимаются в качестве базовых значений расчета зависимостей.

Таблица 2.3— Справочные показатели в зависимости от областей произрастания [2]

Область произрастания	Плотность, кг/м ³	Динамический модуль упругости, МПа
Карпатская, украинская и белорусская области	426	9690
Центральная европейская область России	455	

Таким образом экспериментальные данные можно представить в виде отклонения от базовых (справочных) значений, как показано в таблице 2.4.

Таблица 2.4— Абсолютные и относительные отклонения значений плотности и динамического модуля упругости древесины ели от базовых в зависимости от года начала эксплуатации

№ п/п	Год начала эксплуатации	Отклонение плотности		Отклонение динамического модуля упругости	
		кг/м ³	%	МПа	%
1	2010	44	10,3	3383	35,2
2		74	17,4	10693	111,4
3	1920	44	10,3	8252	86,0
4	1890	54	12,7	10975	114,3
5	1860	-6	-1,4	6302	65,6
6		-16	-3,8	3972	41,4
7	1760	74	17,4	9408	98,0

По абсолютным и относительным отклонениям плотности и динамического модуля упругости с использованием программы TableCurve построены зависимости и определены аппроксимирующие функции (рисунки 2.3-2.4) в зависимости от года начала эксплуатации древесины.

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 2.5.

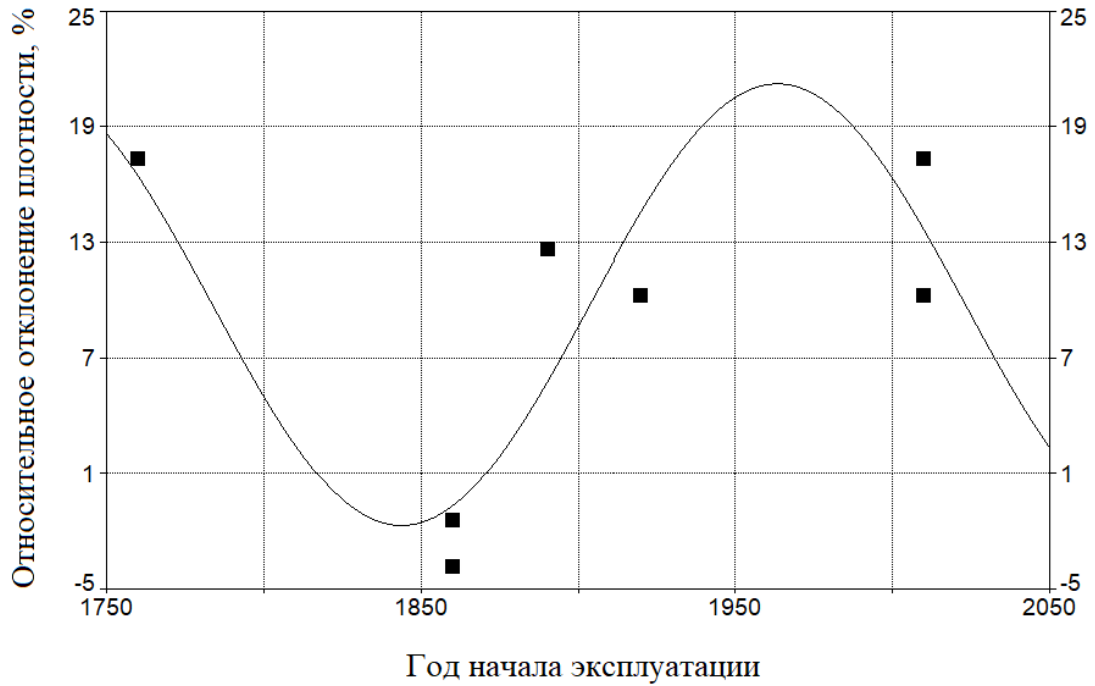


Рисунок 2.3 — Отклонение плотности древесины ели в зависимости от года начала эксплуатации и кривая аппроксимирующей функции вида $y = a \cdot \sin(bx+c)+d$ (SineWave (a,b,c,d))

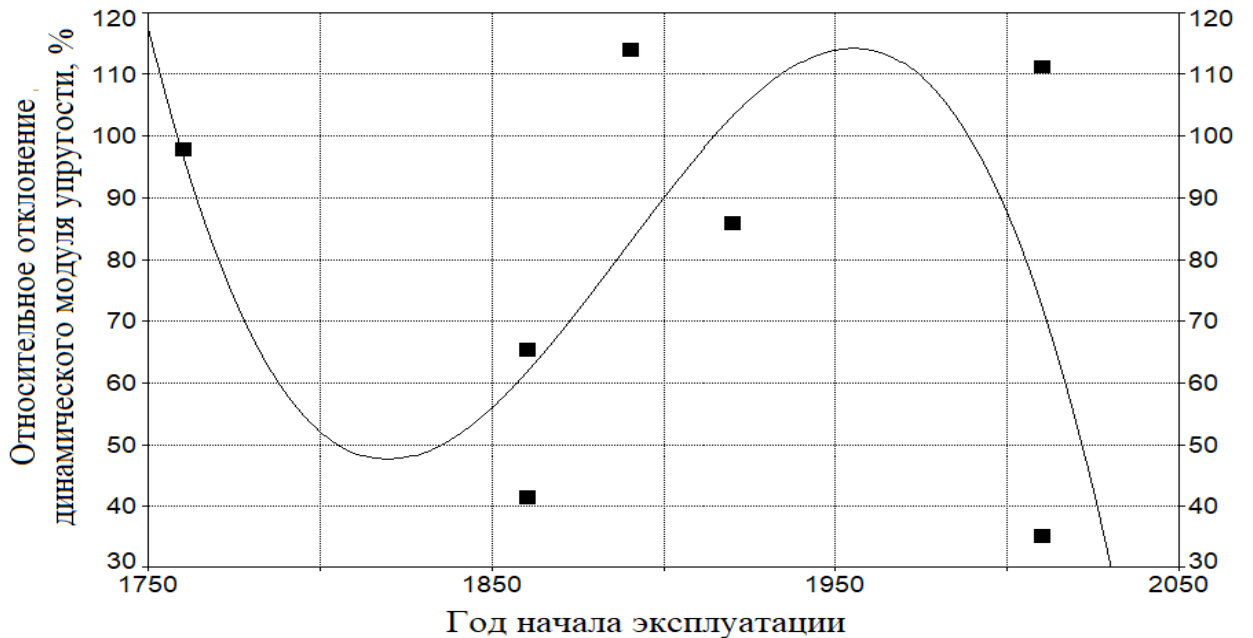


Рисунок 2.4 — Отклонение динамического модуля упругости древесины ели в зависимости от года начала эксплуатации и кривая аппроксимирующей функции вида $y = a+bx+cx^{2.5}+dx^3$

Таблица 2.5— Коэффициенты аппроксимирующих функций относительных отклонений плотности и динамического модуля упругости в зависимости от года начала эксплуатации древесины и их основные статистические показатели

Показатели	$y = a \cdot \sin(bx+c)+d$	$y = a+bx+cx^{2.5}+dx^3$
a/a_1	9,77034	286304,55
b/b_1	11,45138	-380,16992
c/c_1	0,343126	0,007431
d/d_1	239,5858	-0,000107
r^2	0,76	0,26
стандартная ошибка	5,8484	39,25
F-значение	3,19	0,3456

С целью упрощения интерпретации полученных аппроксимирующих зависимостей запишем их в виде

$$\Delta\rho = a \cdot \sin(bT+c)+d; \quad (2.2)$$

$$\Delta E = a_1+b_1T+c_1T^{2.5}+d_1T^3. \quad (2.3)$$

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 (таблица 2.4).

2.1.4 Прогнозирование акустической константы и скорости распространения продольной ультразвуковой волны

Основываясь на научном предположении о синусоидальном характере изменения свойств и состава древесины [33] в зависимости от возраста (срока

выдержки), а также на результатах теоретических исследований изменения плотности и динамического модуля упругости, представленных выше, далее было выполнено прогнозирование данных путем интерполяции. Скорость распространения продольной ультразвуковой волны и акустическая константа выдержанной древесины были рассчитаны с использованием полученных зависимостей (2.2) и (2.3).

Общий вид уравнения прогнозирования скорости распространения ультразвуковой волны в выдержанной древесине ели в зависимости от года начала эксплуатации примет вид

$$c = \sqrt{\frac{E + E0,01\Delta E}{\rho + \rho0,01\Delta\rho}} \cdot 10^6$$

или

$$c = \sqrt{\frac{E + E0,01(a_1 + b_1T + c_1T^{2,5} + d_1T^3)}{\rho + \rho0,01(a\sin(bT + c) + d)}} \cdot 10^6 \quad (2.4)$$

Общий вид уравнения прогнозирования динамического модуля упругости в выдержанной древесине ели в зависимости от года начала эксплуатации примет вид

$$K = \frac{\sqrt{\frac{E + E0,01\Delta E}{\rho + \rho0,01\Delta\rho}} \cdot 10^6}{\rho}$$

или

$$K = \frac{\sqrt{\frac{E + E0,01(a_1 + b_1T + c_1T^{2,5} + d_1T^3)}{\rho + \rho0,01(a\sin(bT + c) + d)}} \cdot 10^6}{\rho + \rho0,01(a\sin(bT + c) + d)} \quad (2.5)$$

где c — скорость распространения продольной ультразвуковой волны, м/с;

K — акустическая константа, м⁴/кг·с;

E — базовое (табличное или экспериментальное) значение

динамического модуля упругости древесины ели для данной

области произрастания, МПа;

ρ — базовое (табличное или экспериментальное) значение плотности древесины ели для данной области произрастания, кг/м³.

В последующих расчетах базовые значения плотности и динамического модуля упругости были выбраны для Волжско-Камского региона России, а именно для Республики Марий Эл как центральной европейской области России (таблица 2.6). Необходимо также отметить, что аппроксимирующие функции находились по результатам, полученным только на кондиционированных образцах при стандартных условиях (20°C, 65%). Следовательно, при отклонениях условий от указанных необходимо учитывать влияние влажности как на плотность древесины, так и на скорость распространения продольной ультразвуковой волны и сделать соответствующие поправки.

На основе полученных уравнений (2.4) и (2.5) были теоретически определены значения с интервалом времени начала эксплуатации 25 лет, которые представлены в таблице 2.6 и на рисунке 2.5.

Таблица 2.6 — Результаты прогнозирования скорости распространения продольной ультразвуковой волны c и акустической константы K в зависимости от года начала и срока выдержки

Показатели эксплуатации		$\Delta\rho$, кг/м ³	ΔE , МПа	ρ , кг/м ³	$E \times 10^6$, МПа	c , МПа	K , м ⁴ /кг
Срок выдержки, лет	Год						
0	2010	12,9	74	513,7	16704	5702,4	11,1
25	1985	19,3	97	542,8	18912	5902,6	10,9
50	1960	21,1	111	551,0	20256	6063,2	11,0
75	1935	17,9	109	536,4	20064	6115,7	11,4
100	1910	11,5	97	507,3	18912	6105,6	12,0
125	1885	4,1	80	473,7	17280	6040,1	12,8
150	1860	-0,5	61	452,7	15456	5842,9	12,9
175	1835	-1,5	46	448,2	14016	5592,3	12,5
200	1810	2,5	44	466,4	13824	5444,4	11,7

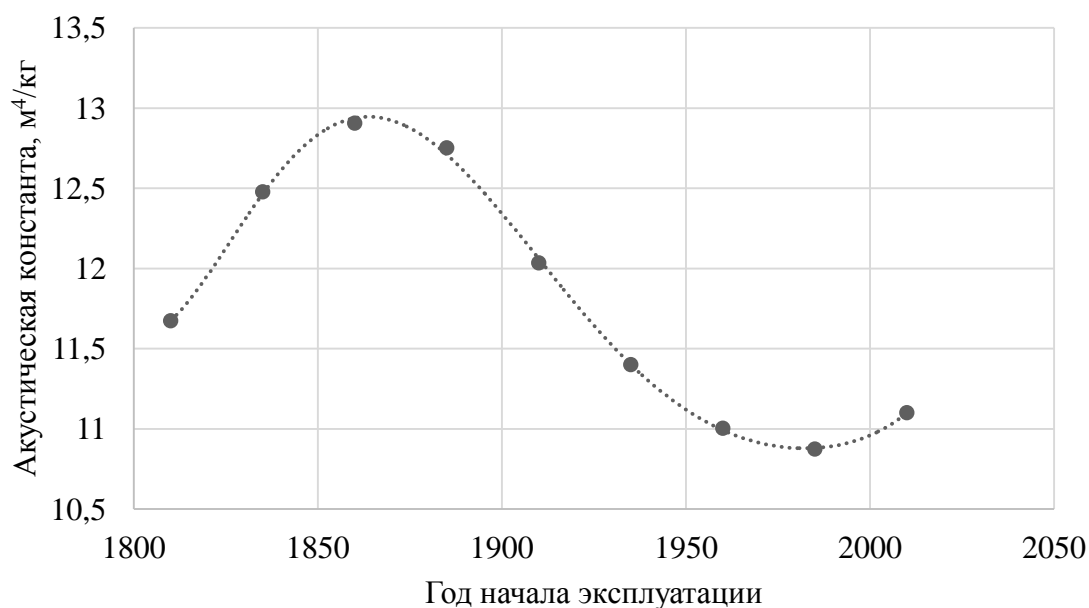


Рисунок 2.5— Теоретическая кривая зависимости акустической константы от года начала эксплуатации (заготовки) древесины ели в зданиях и сооружениях

В соответствии с кривой, изображенной на рисунке 2.5 для более точного расчета разработаны модели прогнозирования акустической константы (2.6) и (2.7) и рассчитаны основные статистические показатели (таблица 2.7).

$$K_{(sin)} = 11,8 \sin(1,04T + 5,24) + 221,8; \quad (2.6)$$

или

$$K = -12227,4 + 16T + 0,003T^{2,5} + 0,00043T^3. \quad (2.7)$$

Таблица 2.7 — 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

2.2 Прогнозирование колориметрических свойств, выдержанной древесины ели

Цвет как способность материала избирательно поглощать и отражать определенные спектры света имеет большое значение в оценке качества древесного сырья; это особенно важно при изготовлении сортиментов специального назначения, например, резонансных заготовок.

Одним из способов определения цвета древесины является установление трех показателей:

- цветовой тон, который характеризуется длиной волны λ чистого спектрального спектра;
- светлота, определяемая коэффициентом отражения ρ ;
- чистота, показатель степени разбавления цвета в пределах от 100% до нуля.

Принято считать, что цвет натуральной древесины большинства отечественных пород относится к желтому спектру цвета, так как имеют длину волны, λ , в пределах 578 – 585 нм [41].

Причины вариативности цвета заключается в неодинаковом содержании органических веществ. Основываясь на результатах исследований [33], что в процессе эксплуатации (выдерживании) древесины меняет цвет, измерение цвета может являться косвенным способом оценки резонансных свойств древесины в том числе и выдержанной.

Для исследования колориметрических свойств древесины будет использована RGB аддитивная цветовая модель и колориметр, основанный на её измерении. Данная модель является методом кодирования цвета для цветопроизведения с помощью трёх цветов (красный, зеленый и синий), которые принято называть основными. RGB-модель в настоящее время широко распространена и используется в различных отраслях науки и техники, например, для формирования картинки как в старых ламповых телевизорах, так

и в современной технике, в жидкокристаллических телевизионных, компьютерных, телефонных и других дисплеях. Также на основе измерения уровней этих трех составляющих цвета возможно воспроизвести цвет как в специализированных программах для работы с изображениями, так и в простых классических приложениях, например, MS «Paint».

В работе [33] для исследования изменчивости цвета выдержанной древесины в зависимости от времени эксплуатации в зданиях и сооружениях использовалась RGB аддитивная цветовая модель. Опираясь на представленные результаты были рассчитаны RGB-уровни с периодом 100 лет, которые представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 — RGB-уровни выдержанной древесины в зависимости от времени эксплуатации в зданиях и сооружениях

Показатели эксплуатации		RGB-уровни, $\times 10^3$		
Срок выдержки, лет	Год	R (красный)	G (зеленый)	B (голубой)
0	2000	0,22	0,175	0,14
100	1900	0,18	0,14	0,115
200	1800	0,15	0,12	0,09
300	1700	0,12	0,095	0,065
400	1600	0,105	0,08	0,055
500	1500	0,085	0,06	0,04

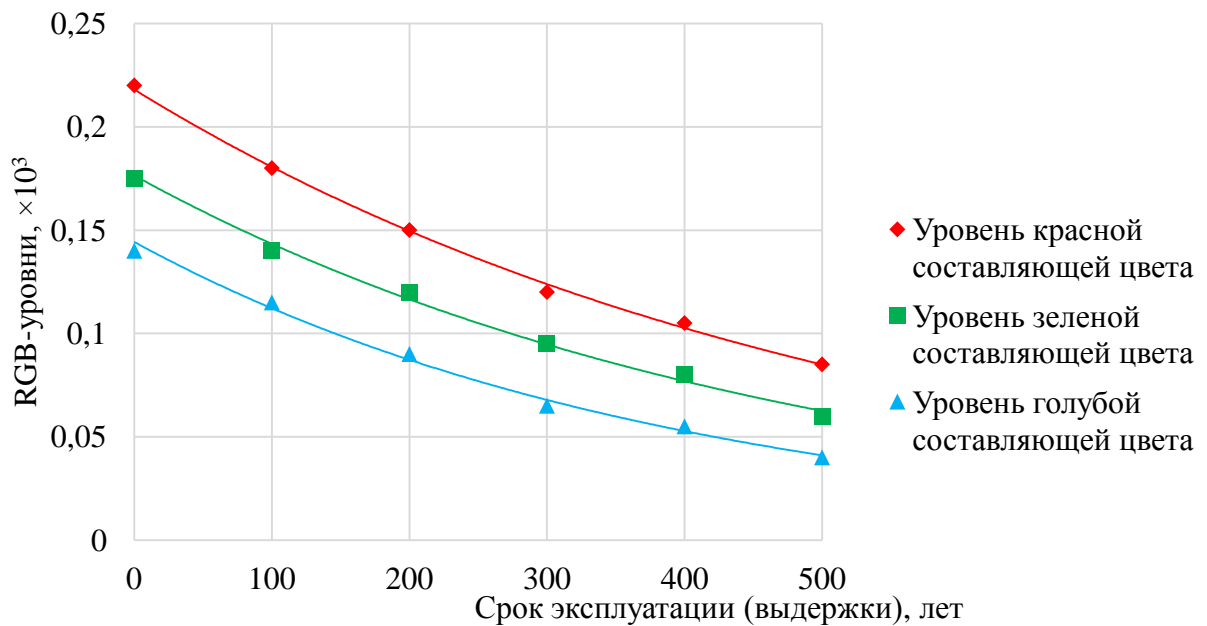


Рисунок 2.6 — Изменение RGB-уровней в зависимости от срока эксплуатации (выдержки) древесины ели

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

- для красной составляющей цвета $R = 218e^{-0.002\Delta t}$ ($r^2 = 1$)(2.8);

- для зеленой составляющей цвета $G = 176,4e^{-0.002\Delta t}$ ($r^2 = 0,99$) (2.9);

- для голубой составляющей цвета $B = 144,2e^{-0.003\Delta t}$ ($r^2 = 0,99$) (2.10).

где Δt – срок эксплуатации (выдержки), лет.

Таким образом, 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 (2.8-2.10) были рассчитаны диапазоны RGB-уровней (таблица 2.7):

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

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

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

2.3 Выводы

1. Установлена зависимость плотности древесины ели от года начала эксплуатации древесины.
2. По полученным теоретическим расчетам установлено, 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 или 1835-1910 гг. начала эксплуатации.
3. Получены уравнения регрессии между сроком эксплуатации древесины ели и изменениями RGB-уровней.

3 Материалы и методы исследований

3.1 Характеристика объекта исследований и методика отбора образцов древесины

При проведении поиска объекта исследования изначально должны быть отобраны старые сооружения для последующего изучения резонансных свойств. Определялись акустические, колориметрические и дендрохронологические показатели выдержанной древесины.

При этом важно иметь в виду, что в разных элементах деревянного сооружения древесина в различной степени подвергается влиянию природных и антропогенных факторов; например, температурно-влажностный режим среды существенно различается в потолочной, половой и стеновой частях; кроме того, в зависимости от расположения дома относительно сторон света древесина в срубе в разной степени испытывает систематическое воздействие ветров и, главное, солнечной радиации. В свою очередь в зависимости от количества солнечного излучения попадающую на древесину происходит неравномерный перепад температур, что также вызывает разные по силе внутренние напряжения в материале. Это может быть описано в виде суточных колебаний напряжения с разной амплитудой.

Исследования осуществлялись в Камско-Волжском регионе страны. На данной территории преимущественно преобладают таежные леса, где исследования подобного характера еще не проводились.

Объект исследования готовился в два этапа. Первоначально в трех частично заброшенных деревнях в северной части Республики Марий Эл были обследованы пустующие дома.

В дальнейшем визуальным методом было отобрано три дома, характерных по размерам для марийских поселений и подходящих по эксплуатационной сохранности – наличие не протекающей крыши, закрытых окон и т.д.

Для окончательного выбора объекта были изучены порода и биологическое состояние древесины (наличие или отсутствие признаков загнивания) в стенах домов путем обследования кернов, взятых с помощью широко применяемого лесоводами приростного (возрастного) бурава; при этом отобрались дома с лучшей биологической сохранностью древесины и, как правило, из хвойных пород.

В порядке наглядной иллюстрации на рисунке 3.1 представлен один из отобранных домов, на примере которого приводим описание второго этапа, направленного непосредственно на изготовление опытных образцов древесины.

Предположительный возраст исследуемого дома составлял 70 лет. Бревна сруба состоят из древесины ели и сосны. На момент заготовки образцов дом был нежилым около двух-трех лет. На улице температура воздуха была 20 °С при влажности 25 %. Температура воздуха в помещении (внутри дома) — 17 °С и влажности 30 %.

С каждой из четырех сторон выпиливались чураки длиной 600 мм. Данный размер был выбран исходя из условия, что впоследствии делались две заготовки длиной 500 и 100 мм для изготовления образцов. Из них были изготовлены стандартные образцы для комплексных исследований акустических и других физико-механических свойств древесины размерами 20×20×300 мм и 20×20×30 мм при комнатно-сухой влажности, то есть $W = 8 \pm 2$ %.

Чураки отбирались с трех наружных сторон дома относительно сторон света с и внутренней части дома, выходящей на веранду. По возможности это происходило на каждом втором бревне и в трех точках на каждой из сторон: по два чурака на расстоянии не менее 50 см к венцу сруба или угловому

соединению и 1 чурак по центру; всего было выпилено 22 шт. Выпиливание образцов зависело от состояния бревен, конструкции дома и других сопутствующих факторов. Схемы выпиливания чурakov в зависимости от сторон света представлены на рисунках 3.2-3.5.

У каждого выпиленного чурака были измерены влажность древесины с помощью бесконтактного электровлагомера GANN COMPACT (Gann Messu. Regeltechnik GmbH, Германия).



Рисунок 3.1 — Места отбора чурakov для изготовления опытных образцов

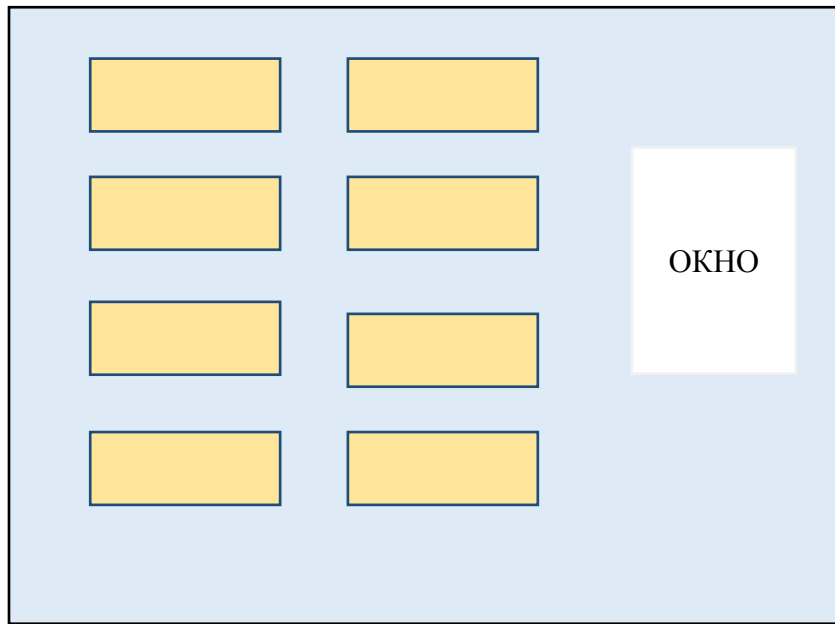


Рисунок 3.2 —Схема отбора чураков с северной части дома (снаружи)

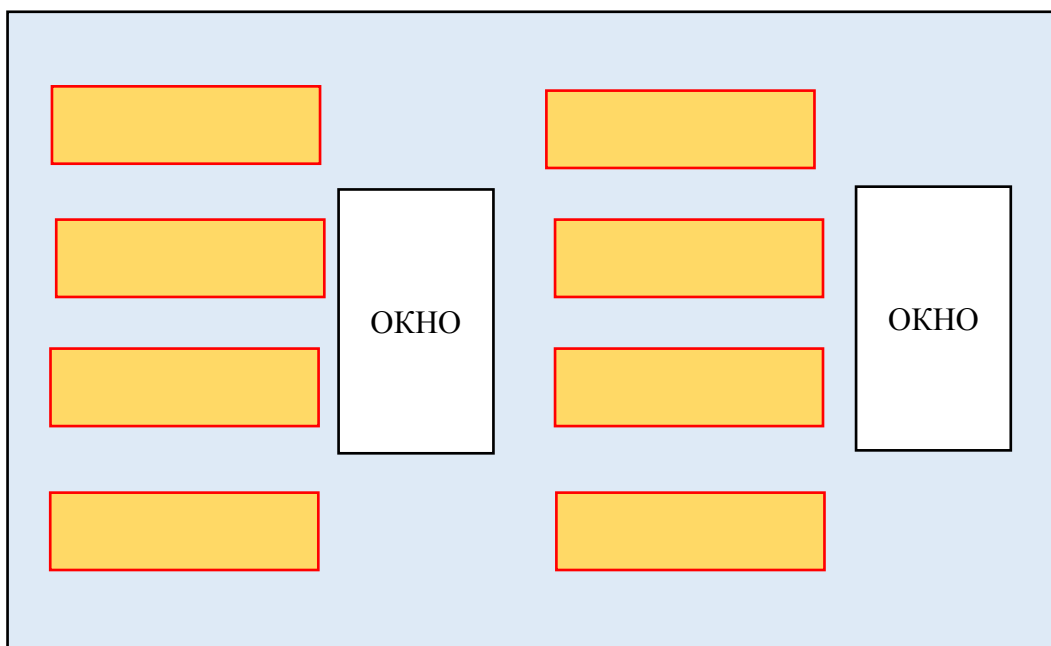


Рисунок 3.3 —Схема отбора чураков с южной части дома (снаружи)

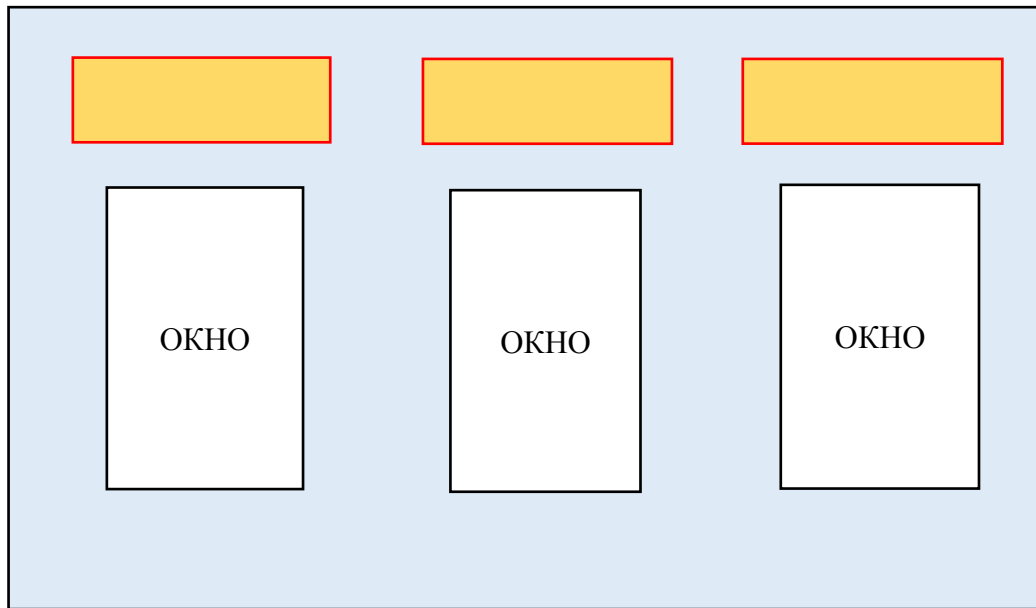


Рисунок 3.4 —Схема отбора чираков с западной часть дома (снаружи)

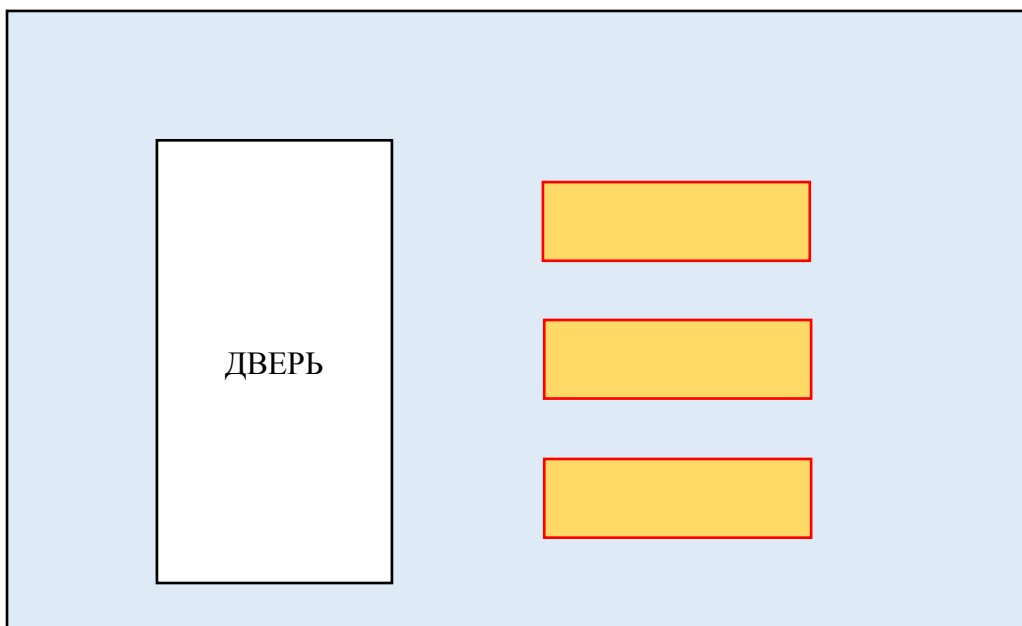


Рисунок 3.5 —Схема отбора чираков в восточной части дома (снаружи)

При подготовке образцов для исследований из чираков учитывались требования по ГОСТ 16483.21 [9]. Каждый образец обозначен и пронумерован в зависимости от места расположения в бревне указаны сторона света; высоты от уровня земли; расстояние от угла (крайние и серединные).

Как было уже указано выше части бревна выпиливались в трех местах в каждом бревне. Каждый фрагмент маркировался с указанием стороны света откуда был выпилен чурак (С, З, Ю, В), обозначение I, II, III указывает на номер бревна по порядку расположения снизу или сверху от фундамента, номер удаления от сердцевины имел три значения, Н — ориентация от сердцевины наружу (улица), В — ориентация от сердцевины внутрь (в дом) [72].

Следует отметить, что из-за расположения дверных и оконных проемов было выпилено менее 3 чураков с каждого бревна, со стороны стен одинаковое количество фрагментов.

Затем заготовки распиливались на образцы размерами $20 \times 20 \times 300$ мм спродольным направлением волокон [53, 60].

Методика исследований древесины в потолочной и половой частях сооружения

Методика исследований древесины в потолочной и половой частях сооружения отличается прежде всего особенностью изготовления опытных образцов.

Изначально древесина в половой и потолочной конструкциях оценивалась визуально по макроструктуре и наличию/отсутствию пороков. Из доски (без пороков и повреждений) радиальной распиловки перпендикулярно к ребру до середины пласти выпишивались пластины размерами 600×22 мм. Данные пластины выпишивались параллельно друг другу через одну доску (рисунки 3.6-3.7).



Рисунок 3.6— Процесс выпиливания пластин из потолочной доски



Рисунок 3.7— Места вырезки пластин из полочных досок

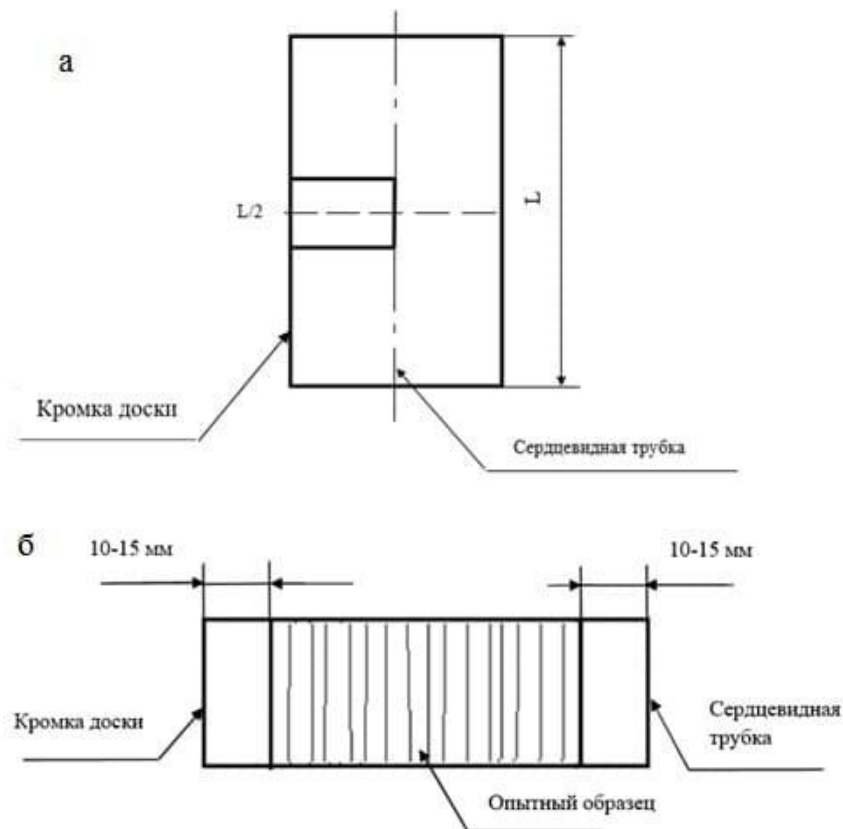
Из выпиленных пластин (рисунок 3.8а) были изготовлены опытные образцы (рисунок 3.8б).

Отбор пластин и изготовление образцов древесины из половой части сооружения проводились по такой же принципиальной схеме (рисунок 3.9).

В дальнейшем из отобранных пластин были изготовлены стандартные образцы размерами 20x20x300 мм для лабораторных исследований акустических и других физико-механических свойств древесины (рисунок 3.10).

Для точных исследований образцы были кондиционированы до стандартной влажности, $W=12\%$, путем выдерживания в специальной камере.

Методика исследований образцов пола и потолка принципиально не отличалась от проведения исследований древесины из стеновых элементов сооружения.



а - выпиливание пластин; *б* – изготовление опытных образцов

Рисунок 3.8 — Выпиливание пластин и изготовление опытных образцов



Рисунок 3.9 — Отбор пластин из половой доски

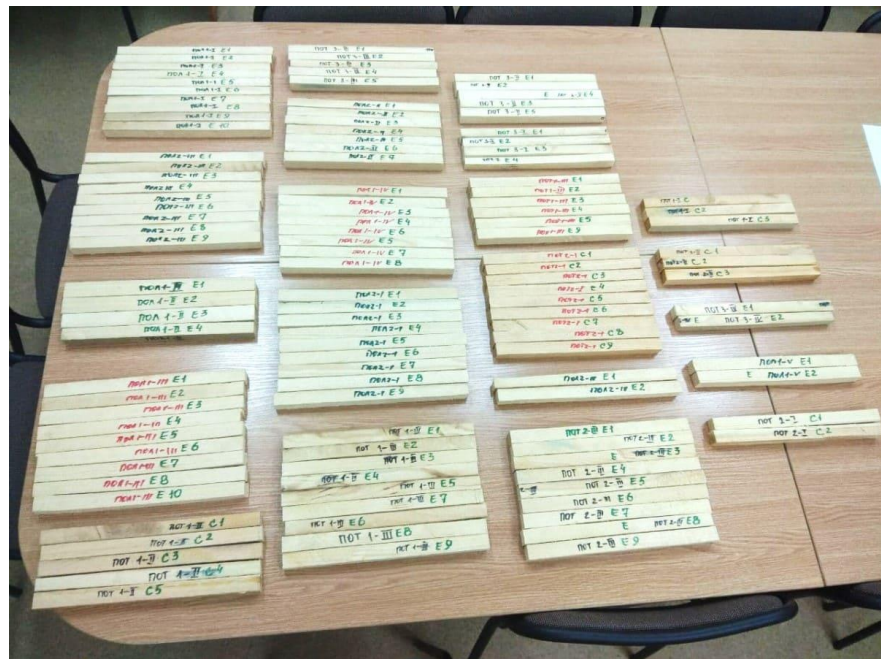


Рисунок 3.10 — Опытные образцы древесины из потолочных и половых досок

Полученные результаты исследований выдержанной в элементах сооружения древесины сопоставлялись с результатами подобных исследований свежей древесины, выполненных по единой методике с использованием одних и тех же технических средств измерений.

3.2 Методика экспериментальных исследований древесины

3.2.1 Исследование физико-механических свойств древесины

Определение предела прочности при статическом изгибе. Выполнялось согласно стандарту ГОСТ 16483.3-84 [6]. Образец имел поперечное сечение 20x20x300 мм (длина вдоль волокон). Предел прочности на статический изгиб определяется по стандартной формуле.

Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон. Осуществлялось по ГОСТ 16483.10-73 [8]. Образцы в данном исследовании изготавливались из образцов для статистического изгиба и имели размеры 20x20x30 мм (длина вдоль волокон). Предел прочности при сжатии вдоль волокон определялся по стандартной формуле.

Схема изготовления радиальных образцов из выпиленных фрагментов бревен представлена на рисунке 3.11.



Рисунок 3.11—Схема отбора и изготовления образцов

Образцы кондиционировались и исследовались при равновесной влажности $W = 8 \pm 2\%$. Данная влажность была получена при выдерживании в комнатных условиях отапливаемого помещения не менее 3-х месяцев при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха в пределах 25 %.

Для измерения пределов прочности использовалась испытательная машина Shimadzu Autograph AG-50kNXD с установленным программным обес-

печением для отображения и обработки данных «TrapeziumX» (Shimadzu, Япония); предварительно она прошла стандартную метрологическую поверку.

3.2.2 Исследование акустических свойств древесины

Как было сказано уже выше показателем акустических свойств древесины является акустическая константа K , определяемая по формуле (2.1).

По ГОСТ 16483.1-84 [5] произведен расчет плотности древесины. Размеры полученных образцах измерялись штангенциркулем с погрешностью не более 0,1мм; взвешивание образцов выполнялось на электронных лабораторных весах ВСТ-600/10-0 «Невские весы» (с точностью 0,001 г). В работе использовался импульсный ультразвуковой прибор УК-14П[53].

3.2.3 Исследование колориметрических свойств древесины

Объект исследования готовился в два этапа. Первый этап проводился путем рекогносцировки старых сооружений по выявлению их пригодности к использованию в качестве объекта исследований.

Второй этап направлен непосредственно на изготовление опытных образцов древесины с учетом основных требований ГОСТ 16483.21.

Достижение объективных результатов колориметрических исследований выдержанной древесины возможно с помощью RGB аддитивной цветовой модели, которая дает возможность более точно отображать не только многообразие цветов, но и оттенки. Это достигается тем, что данная модель основана на измерении аддитивного уровня основных цветов.

Определение колориметрических показателей древесины проводилось на тех же образцах, которые ранее были исследованы ультразвуковым способом с помощью прибора УК-14. Кроме того, с целью сопоставления свежей и выдержанной древесины по цветовым показателям были использованы также

образцы в виде дощечек радиальной распиловки размерами 20×20×300мм; измерения в обоих случаях проводились при стандартной влажности древесины, $W = 12\%$.

С помощью колориметра марки PCE-RGB 2 (PCE Group Co KG, Германия) проводились измерения образцов по RGB-уровню (разрешающая способностью 1/1000). Для этого на каждом образце находилась сторона с расположением годичных колец в тангенциальном направлении. Она являлась основой для измерения. Измерительное окно колориметра подносилось к каждому из трех участков измерения: по центру и на расстоянии не менее 10 мм от торца образца [51, 53].

3.3 Выводы

Для достижения поставленных задач в рамках диссертационной работы и проведения экспериментальных исследований физико-механических, акустических и колориметрических свойств выдержанной древесины ели и сосны была разработана комплексная методика отбора и изготовления стандартных образцов.

С этой целью был отобран подходящий для исследования объект – нежилой бревенчатый дом со сроком эксплуатации (возрастом) более 70 лет, находящийся в северной части Республики Марий Эл, где преимущественно преобладают хвойные леса, в настоящий момент не эксплуатирующийся по назначению.

2 Результаты экспериментальных исследований

4.1 Результаты исследований акустических и физико-механических свойств древесины в стеновых элементах сооружения

Основные статистические показатели результатов экспериментальных исследований прочности при сжатии вдоль волокон и при статическом изгибе в зависимости от сторон света и отдельно по породам выдержанной древесины представлены в таблицах 4.1-4.2 и на рисунках 4.1-4.2. Результаты получены при уровне значимости $p=0,05$ (95%).

Таблица 4.1 — Основные статистические показатели по сторонам света

Сторона света	Объем выборки	Среднее значение	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
1. На сжатие вдоль волокон, МПа					
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, МПа					
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 4.2— Основные статистические показатели в зависимости от породы

Порода (часть дерева)	Объем выборки	Среднее значение	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
1. На сжатие вдоль волокон, МПа					
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
2. На статический изгиб, МПа					
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

Как показали исследования, равновесная влажность выдержанной древесины при кондиционировании образцов ($t=20^{\circ}\text{C}$, $\varphi=65\%$) составила не более 8 %. Поэтому по стандартным уравнениям были пересчитаны экспериментальные значения для влажности 12% и 30% (таблица 4.3).

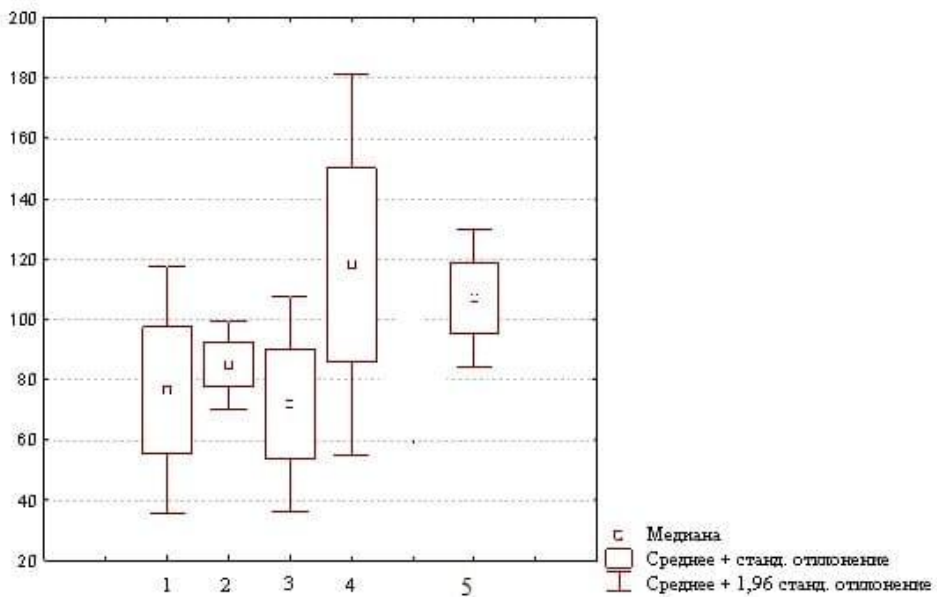
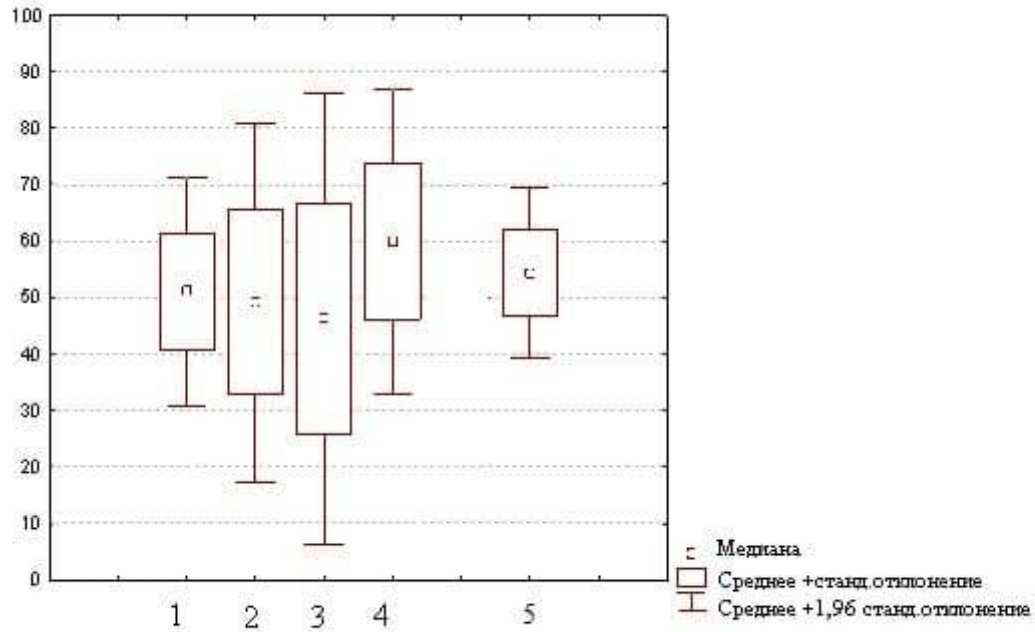
В приложении А представлены результаты исследования выдержанной древесины.

В таблице 4.4 представлены результаты расчета акустической константы для свежесрубленной древесины. Полные результаты исследований приведены в приложении Б.

Полученные результаты показывают, что имеется существенная разница прочностных показателей выдержанной древесины в зависимости от расположения в сооружении.

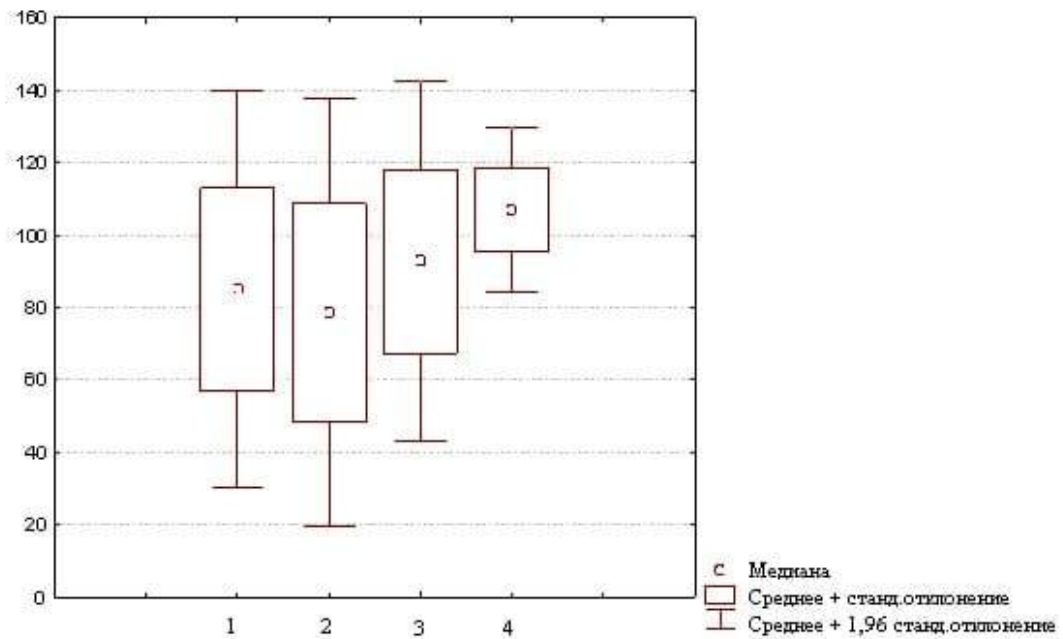
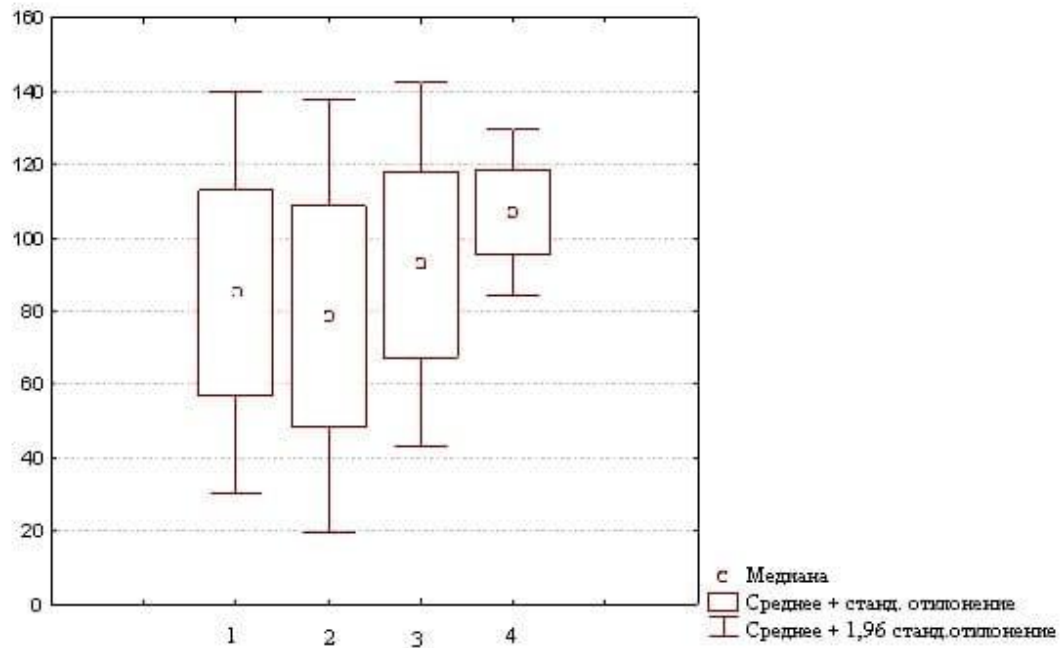
У образцов, отобранных с южной стороны конструкций, следует отметить высокие показатели по прочности.

Предел прочности при сжатии вдоль волокон на 25% выше у образцов с других сторон конструкции (предел прочности при статическом изгибе на 50 %).



1 — восток, 2 — север, 3 — запад, 4 — юг, 5 — свежезаготовленная древесина

Рисунок 4.1—Диаграммы размаха предела прочности на сжатие вдоль волокон (*сверху*) и на статический изгиб (*снизу*) выдержанной древесины в зависимости от расположения к стороне света и свежезаготовленной древесины ели, Мпа



1 — выдержанная сосна, сердцевина, 2 — выдержанная сосна, заболонь,

3 — выдержанная ель, 4 — свежая древесина

Рисунок 4.2—Сравнительная диаграмма размаха предела прочности присжатии вдоль волокон (*сверху*) и при статическом изгибе(*снизу*) в зависимости от породы древесины в сопоставлении со свежесрубленной древесиной ели, МПа

Таблица 4.3—Результаты теоретических и экспериментальных значений величин пределов прочности

№ п/п	Порода	Свежая древесина		Выдержанная древесина		
		табличные значения, МПа		средние значения, МПа	пересчитанные значения, МПа	
		влажн. 12%	влажн. 30%	влажн. 8 %	влажн. 1 2%	влажн. 30%
1 Предел прочности при сжатии вдоль волокон						
1.1	Сердцевинная область сосны	46,0	21,0	53,0	44,5	25,9
1.2	Заболонная область сосны			48,0	40,3	23,4
1.3	Ель	45,0	19,0	48,0	40,3	23,4
2 Предел прочности при статическом изгибе						
2.1	Сердцевинная область сосны	85,0	49,0	85,0	71,4	41,5
2.2	Заболонная область сосны			79,0	66,4	38,6
2.3	Ель	79,0	43,0	93,0	78,1	45,4

У каждого дома отобрано по 40 и 15 образцов ели и сосны соответственно с южной стороны.

По результатам исследования прочности (сжатие вдоль волокон и статический изгиб) с северной, восточной и западной сторон конструкции значительных различий не обнаружено.

Высокие показатели физико-механических свойств характеризуются по всей видимости с учетом расположения света.

Известно, что наибольшее влияние солнечных лучей испытывают те части построек, которые ориентированы на южную сторону света. Поэтому здесь наблюдается наиболее сильный перепад температурного и влажностного режимов в течение суток; это наблюдается в большей мере в зимний период.

Таблица 4.4 — Результаты измерения ультразвуковым методом свежей древесины
(при стандартной влажности)

Образец	Масса образца, <i>ткг</i>	Плотность ρ_{12} , кг/м ³	Время распро- странения упру- гой продольной волны t_{cp} , мкс	Скорость распрост- ранения звука C , м/с	Акустическа константа K , м ⁴ /кг·с
1	54,3	553	54,3	5525	10,0
2	49,5	659	49,5	6061	9,2
3	50,5	606	50,5	5941	9,8
4	53,2	564	53,2	5639	10
5	63,9	604	52,8	5682	9,4
6	54,2	543	54,7	5485	10,1
7	50,9	676	52,4	5706	9,9
8	57,6	571	53,1	5650	9,9
9	54,4	522	54,7	5485	10,5
10	62,0	525	54,3	5040	9,6
11	55,8	480	58,6	5136	10,7
12	53,1	463	52,3	4723	10,2
13	57,0	495	56,6	4901	9,9
14	47м4	407	60,8	4396	10,8

К тому же на южной стороне сооружения древесина испытывает наибольшее влияние климатических и погодных условий. Такие колебания могут создавать внутри материала существенные деформативные напряжения, которые в результате длительной эксплуатации также способны отразиться на механические и акустические свойства.

Существенной разницы в пределах прочности на сжатие вдоль волокон и статистический изгиб в зависимости от породы, не выявлено. Однако заметна особенность, выходящая из общей закономерности: предел прочности на статический изгиб выдержанной древесины ели, оказался выше, чем у выдержанной заболонной и ядровой древесины сосны.

Полученные экспериментальные данные имеют большую механическую прочность по средним значениям по сравнению с табличными данными для свежей древесины, фактические значения при стандартной влажности остаются ниже свежей древесины.

Это объясняется тем, что выдержанная древесина по сравнению со свежесрубленной при одних и тех условиях кондиционирования набирает на 2-4% меньше влаги. Пересчет результатов исследований прочности выдержанной древесины на стандартную влажность подтвердил эту особенность.

4.2. Результаты исследований акустических и физико-механических свойств древесины ели и сосны в потолочных и половых частях сооружения

Для испытаний на сжатие вдоль волокон использовались образцы выдержанной древесины 20×20×300 мм. В таблице 4.5 отображены результаты исследования образцов из половых и потолочных досок [53].

В таблице 4.6 [53] представлены результаты расчета акустической константы для образцов из половой и потолочной конструкции.

Основные статистические данные обработки образцов ели из половой конструкции представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.5—Результаты испытаний при сжатии вдоль волокон[53]

Образец	Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности, Н/мм ²
Пол 1-1 Е1	1596,88	3,99
Пол 1-1 Е2	2001,50	4,99
Пол 1-1 Е3	1656,21	4,16
Пол 1-1 Е4	1625,05	4,09
Пол 1-1 Е5	2003,10	5,03
Пол 1-1 Е6	1967,20	4,96

Окончание таблицы 4.5

Пол 1-1 Е7	1662,52	4,19
Пол 1-1 Е8	1987,53	5,00
Пол 1-1 Е9	1906,30	5,00
Пол 1-1 Е10	1792,20	4,50
Пол 1-2 Е1	2532,83	6,30
Пол 1-2 Е2	2453,13	6,13
Пол 1-2 Е3	2285,90	5,74
Пол 1-2 Е4	1937,55	4,80
Пол 1-3 Е1	2042,20	5,14
Пол 1-3 Е2	2329,70	5,84
Пол 1-3 Е3	2279,70	5,74
Пол 1-3 Е4	2085,90	5,20
Пол 1-3 Е5	2037,52	5,10
Пол 1-3 Е6	2134,40	5,30
Пол 1-3 Е7	2242,20	5,60
Пол 1-3 Е8	2242,20	5,63
Пол 1-3 Е10	2107,81	5,27

Таблица 4.6— Результаты измерения выдержанной древесины ультразвуковым методом

Образец	Масса при влажности 12% m_{12} , кг	Время распространения упругой продольной волны τ , мкс	Плотность при влажности 12% ρ_{12} , кг/м ³	Скорость распространения звука C , м/с	Акустическая константа K , м ⁴ /кгс
Зона пола из древесины ели					
ПОЛ 1-III Е1	0,0764	64,8	421,88	4636,80	11,00
ПОЛ 1-III Е2	0,0780	59,9	420,84	5058,61	12,03
ПОЛ 1-III Е3	0,0637	56,8	376,66	5246,48	13,92
ПОЛ 1-III Е4	0,0604	51,2	434,20	5750,50	13,20
ПОЛ 1-IV Е1	0,0630	54,4	435,04	5738,02	13,20
ПОЛ 1-IV Е2	0,0627	51,2	445,80	5953,33	13,37
ПОЛ 1-IV Е3	0,0615	50,0	426,01	6232,48	14,60
ПОЛ 1-IV Е4	0,0612	54,4	425,22	5698,53	13,40
...
Зона потолка из древесины ели					
ПОТ 3-II Е1	0,0545	54,6	400,10	5476,19	13,69
ПОТ 3-II Е2	0,0577	52,8	429,82	5684,43	13,20

Окончание таблицы 4.6

ПОТ3-II E3	0,0584	52,9	434,16	5662,90	13,02
ПОТ 3-II E4	0,0624	52,6	409,33	5662,90	13,82
ПОТ 3-II E5	0,0603	55,7	445,10	5387,40	12,12
ПОТ 3-IV E1	0,0562	49,6	437,40	6040,42	13,83
ПОТ 3-III E1	0,0408	50,4	450,61	5944,30	16,97
ПОТ 3-III E2	0,0470	49,0	364,64	6004,04	16,49
...
Зона потолка из древесины сосны					
ПОТ 2-I C1	0,0680	52,8	521,40	5695,22	10,93
ПОТ 2-I C3	0,0711	48,5	504,63	6164,95	12,22
ПОТ 1-I C1	0,0683	50,5	517,03	5932,52	11,50
ПОТ 1-I C2	0,0671	50,9	504,05	5885,84	11,70
ПОТ 1-I C3	0,0640	52,4	488,23	5728,00	11,75
ПОТ 1-II C1	0,0638	53,6	510,94	5557,64	10,89
ПОТ 1-II C2	0,0560	58,1	506,59	5163,51	10,19
...

Среднее значение акустической константы можно отметить у образцов, изготовленных в половой части конструкции домов.

Таблица 4.7 – 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 К, 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 4.8.

Таблица 4.8 — Статистические данные испытаний образцов ели и сосны
(потолочная конструкция домов)

Показатели	Объем выборки	Среднее значение	Сумма	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение
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

4.3 Результаты исследования по выявлению взаимосвязи акустических и колориметрических показателей древесины

С целью исключения влияния изменения цвета при хранении и получения точных результатов образцы подвергались механической обработке непосредственно перед проведением измерений. Было изготовлено по 15 образцов выдержанной и свежеспиленной древесины.

Для визуального сравнения выдержанной и свежеспиленной древесины представлена фотография на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 — Сопоставление дощечек выдержанной (сверху) и свежей (снизу) древесины ели

Известно, что древесина под воздействием ультрафиолета и температурно-влажностных условий меняет цвет на поверхности. С целью получения достоверности результатов производили удаление верхнего слоя за счет шлифовки образцов. После этого каждый образец измерялся в трех точках как указано на рисунке 4.4. Каждые результаты по измерению красного, синего и зеленого цветов рассчитывались как средние значения.

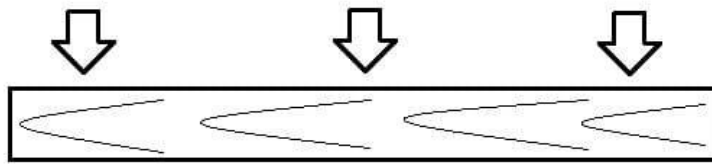


Рисунок 4.4—Схема проведения измерения цвета древесины

Результаты измерения образцов после проведения работ обрабатывались с помощью программ Statistica (компания StatSoftInc., г. Калифорния, США) и TableCurve2D (Systat SoftwareInc., г. Сан-Хосе, США).

Результаты колориметрических исследований и расчета акустической константы представлены в таблице 4.9 и приложении В [53].

Таблица 4.9—Результаты измерения уровней RGB и расчета акустической константы выдержанной и свежеспиленной древесины

№ п/п	Образцы	Уровни RGB (средние значения по образцу)			Акустическая константа (К), м ⁴ / кг с
		red	green	blue	
1. Выдержанная древесина ели					
1.1.	С VI-1-Н-I	0,892	0,779	0,628	10,4
1.2.	С VIII-2-В-II	0,883	0,765	0,605	12,1
...
1.40.	3 VI-1-В-I	0,871	0,786	0,619	11,5
2. Свежая древесина ели					
2.1.	1E	0,946	0,447	0,704	9,6

Окончание таблицы 4.9

2.2.	2Е	0,929	0,835	0,694	9,2
...
2.10.	10Е	0,980	0,886	0,735	9,2
3. Выдержанная заболонная древесина сосны					
3.1.	С X-5-Н-II	0,877	0,751	0,57	12,0
3.2.	3 VIII-3-Н-II	0,875	0,754	0,595	12,1
...
3.15.	В V-3-Н-I	0,768	0,672	0,528	9,4
4. Свежая заболонная древесина сосны					
4.1.	1 ЗС	0,806	0,678	0,497	9,9
4.2.	2 ЗС	0,928	0,804	0,625	10,4
...
4.10.	10 ЗС	0,864	0,725	0,622	9,8
5. Выдержанная ядровая древесина сосны					
5.1.	С X-2-В-II	0,732	0,591	0,440	9,7
5.2.	С X-1-В-III	0,716	0,580	0,429	8,0
...
5.30.	Ю XI-4-Н-II	0,750	0,608	0,464	9,0
6. Свежая ядровая древесина сосны					
6.1.	1 ЯС	0,796	0,669	0,453	9,8
6.2.	2 ЯС	0,788	0,676	0,521	10,4
...
6.10.	10 ЯС	0,830	0,709	0,561	10,5

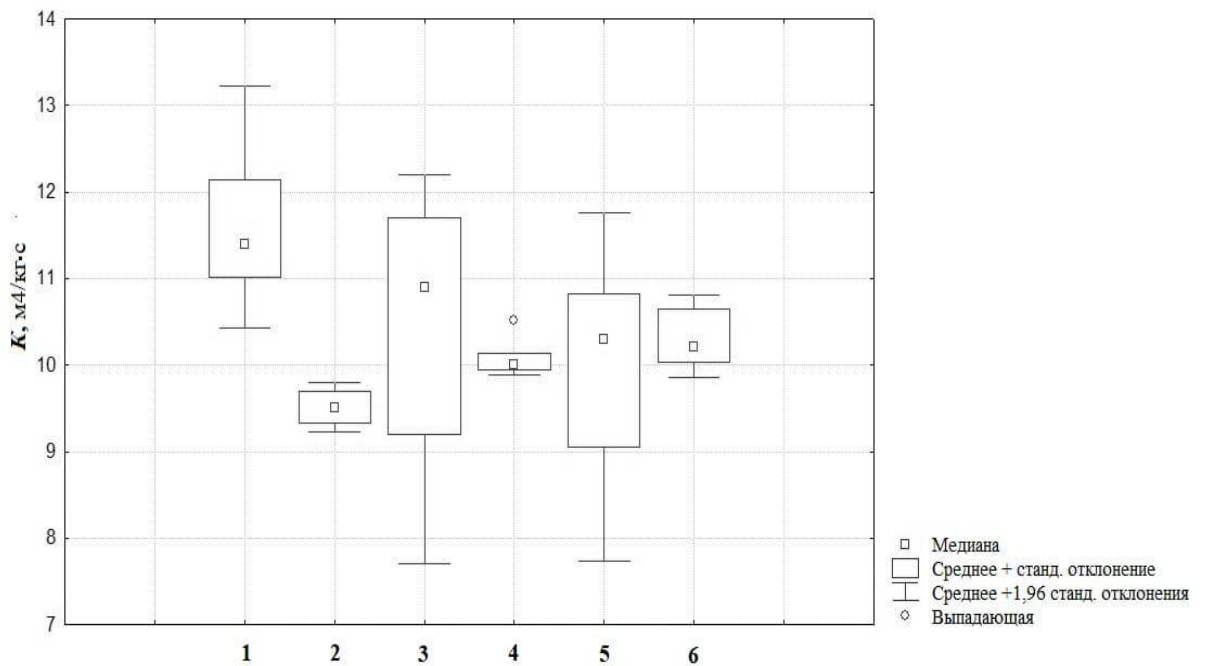
Результаты расчетов статистических характеристик вышеуказанных групп выборок по Кипо RGB-уровням представлены в таблицах 4.10 и 4.11 и на рисунках 4.5-4.8.

Таблица 4.10—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

Продолжение таблицы 4.10

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



1 - выдержанная ель; 2 - ель; 3 - выдержанная заболонная древесина сосны; 4 - заболонная древесина сосны; 5 - выдержанная ядровая древесина сосны; 6 - ядровая древесина сосны
Рисунок 4.5—Диаграмма размаха акустической константы

Таблица 4.11 —Основные статистические показатели выборок по уровням RGB

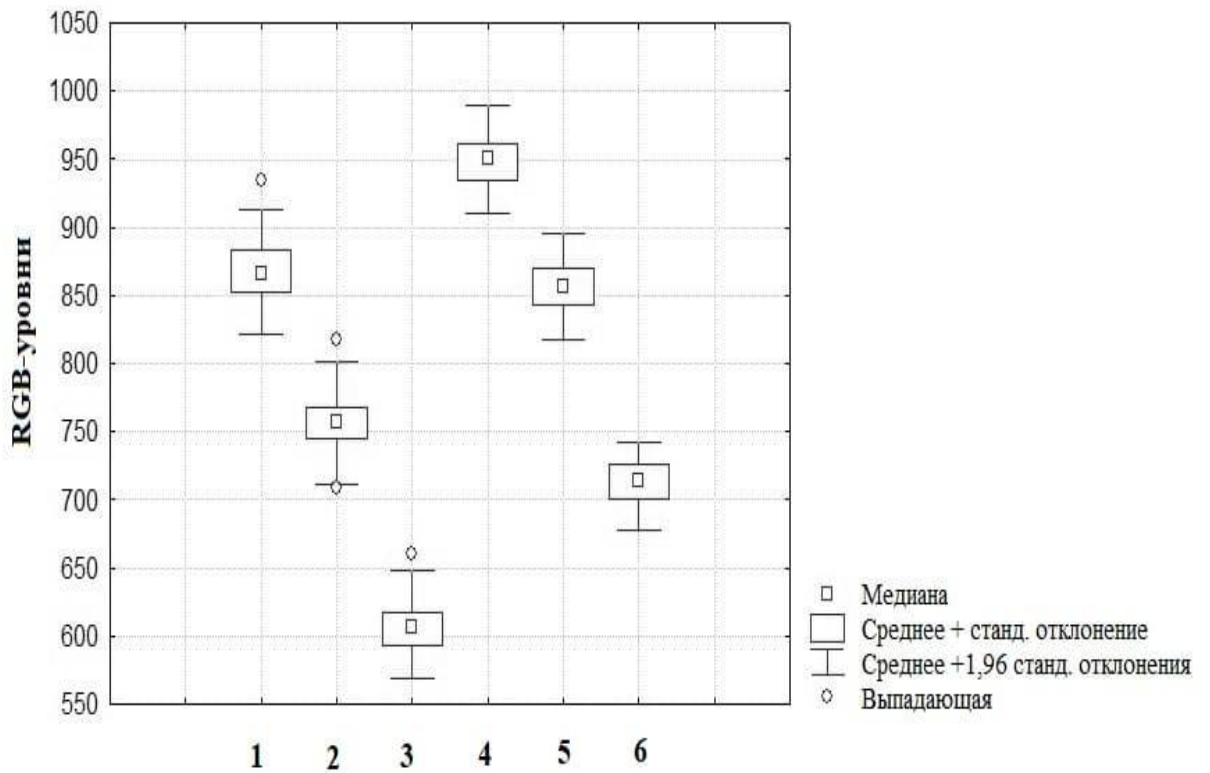
№ группы	Наименование группы, цвет	Объем выборки	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Дисперсия	Стандартное отклонение
1	Выдержанная древесина ели —red	40	0,868	0,867	0,822	0,934	0,641	25
	Выдержанная древесина ели — green		0,757	0,757	0,709	0,818	0,627	25
	Выдержанная древесина ели — blue		0,606	0,606	0,569	0,661	0,471	22
2	Свежая древесина ели—red	10	0,951	0,951	0,910	0,990	0,568	24

Окончание таблицы 4.11

	Свежая древесина ели—green		0,858	0,856	0,818	0,896	0,539	23
	Свежая древесина ели—blue		0,714	0,714	0,678	0,743	0,386	20
3	Выдержанная древесина сосны (заболонь)—red	15	0,839	0,852	0,591	0,907	3,083	56
	Выдержанная древесина сосны (заболонь)—green		0,730	0,741	0,669	0,782	1,198	35
	Выдержанная древесина сосны (заболонь)—blue		0,569	0,573	0,506	0,616	0,993	32
4	Свежая древесина сосны (заболонь)—red	10	0,866	0,900	0,752	0,970	5,749	76
	Свежая древесина сосны (заболонь)—green		0,740	0,778	0,630	0,836	5,966	77
	Свежая древесина сосны (заболонь)—blue		0,572	0,609	0,458	0,655	5,588	75
5	Выдержанная древесина сосны (ядро)—red	30	0,749	0,746	0,675	0,865	1,121	34
	Выдержанная древесина сосны (ядро)—green		0,618	0,616	0,526	0,711	1,183	34
	Выдержанная древесина сосны (ядро)—blue		0,473	0,472	0,414	0,557	1,130	34
6	Свежая древесина сосны (ядро)—red	10	0,834	0,835	0,754	0,871	0,896	30
	Свежая древесина сосны (ядро)—green		0,709	0,710	0,626	0,744	0,925	30
	Свежая древесина сосны (ядро)—blue		0,546	0,561	0,328	0,591	4,560	68

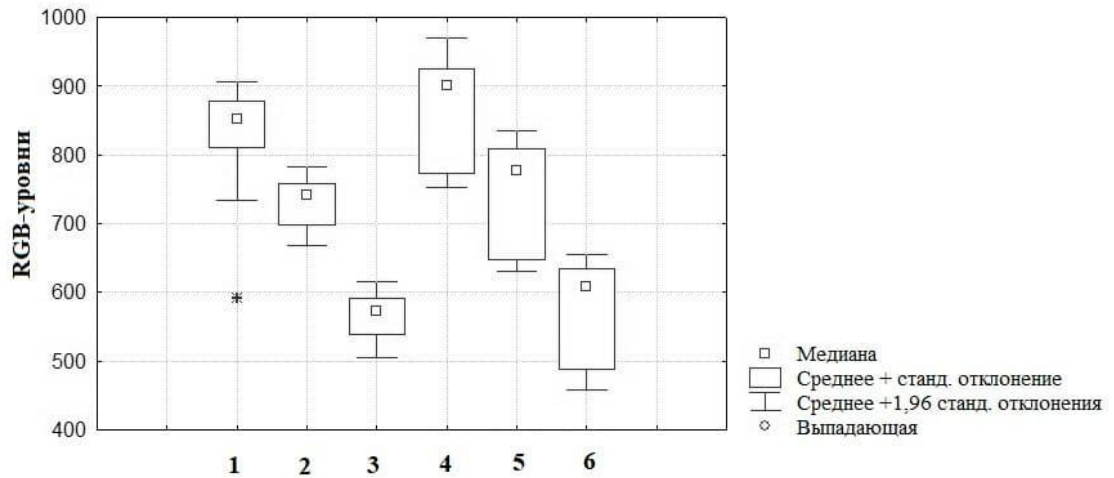
На рисунке 4.9 представлены графики рассеивания взаимоотношения акустической константы и уровней красного, зеленого и синего цвета для выдержанной и свежей древесины ели.

Выдержанная и свежая заболонная и ядровая древесины сосны по взаимосвязи между K и RGB-уровнем имеет схожую закономерность, приведенную на рисунке 4.9.



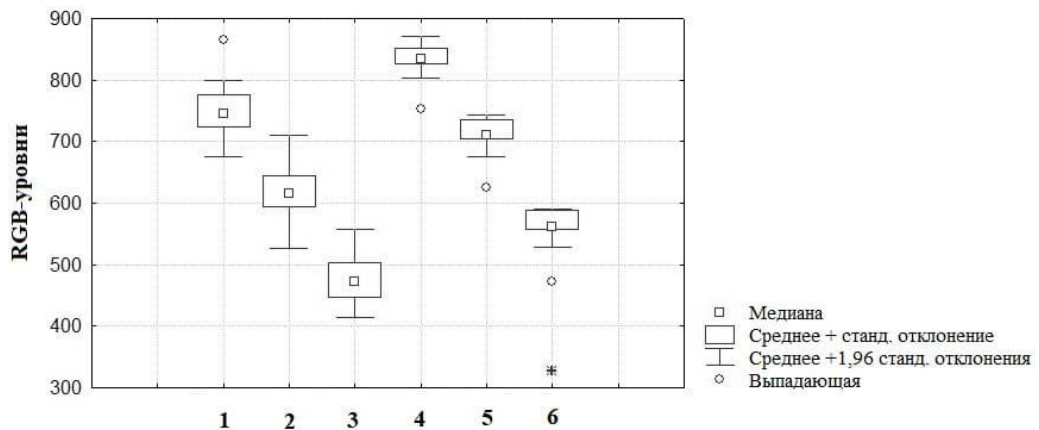
1 – красная составляющая цвета выдержанной древесины, 2 – зеленая составляющая цвета выдержанной древесины, 3 – голубая составляющая цвета выдержанной древесины; 4 – красная составляющая цвета свежей древесины, 5 – зеленая составляющая цвета свежей древесины, 6 – голубая составляющая цвета свежей древесины

Рисунок 4.6 — Диаграмма размаха RGB-уровней для выдержанной и свежей древесины ели, $\times 10^{-3}$



1 – красная составляющая цвета выдержанной заболонной древесины, 2 – зеленая составляющая цвета выдержанной заболонной древесины, 3 – голубая составляющая цвета выдержанной заболонной древесины, 4 – красная составляющая цвета заболонной древесины сосны, 5 - зеленая составляющая цвета заболонной древесины сосны, 6 – голубая составляющая цвета заболонной древесины сосны

Рисунок 4.7— Диаграмма размаха RGB-уровней для выдержанной и свежей заболонной древесины сосны, $\times 10^{-3}$



1 – красная составляющая цвета выдержанной ядровой древесины сосны, 2 – зеленая составляющая цвета выдержанной ядровой древесины сосны, 3 – голубая составляющая цвета выдержанной ядровой древесины сосны, 4 – красная составляющая цвета ядровой древесины сосны, 5 - зеленая составляющая цвета ядровой древесины сосны, 6 – голубая составляющая цвета ядровой древесины сосны

Рисунок 4.8 — Диаграмма размаха уровней RGB для выдержанной и свежей ядровой древесины сосны, $\times 10^{-3}$

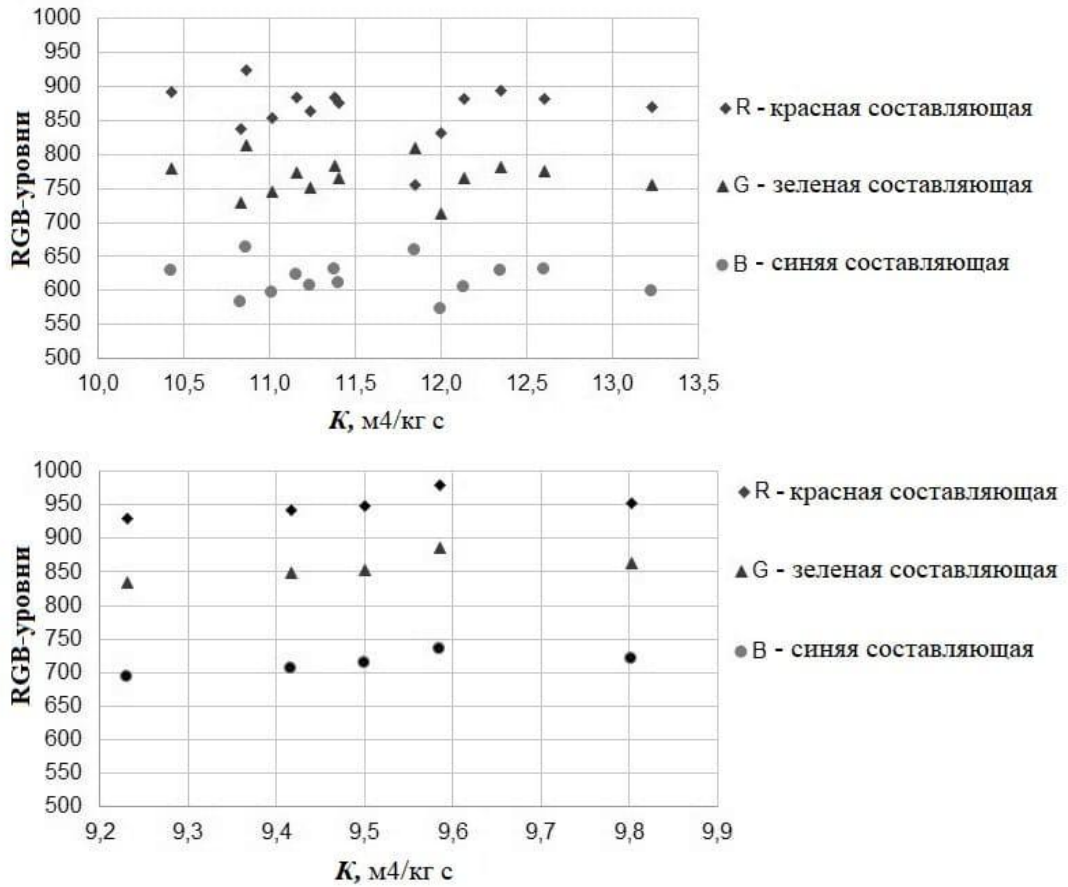


Рисунок 4.9 - Взаимосвязь между акустической константой и RGB-уровнем выдержанной (*сверху*) и свежей (*снизу*) древесины ели, $\times 10^{-3}$

Корреляционный анализ показал, что у всех групп образцов по выдержанной древесине взаимосвязь RGB-уровней с K слабая ($r < 0,3$). Следует отметить, исследуемая взаимосвязь у свежезаготовленной древесины выше у всех групп образцов и лежит в интервале $r^2 = 0,35 \dots 0,5$, что подтверждает рисунок 4.9.

Важно отметить, что колориметр рассчитан на работу с однородной по цвету поверхностью. Поскольку в измерительное окно прибора могли попасть слои как поздней, так и ранней древесины, то результаты представлены по усредненным данным. С целью подтверждения данных проведены дополнительные измерения подготовленных образцов на тангенциальной поверхности отдельно поздней и ранней зоны годичных слоев. Например, показания

колориметра (R/G/B) образца В V-6-Н-Исследующие: на ранней древесине 0,812/0,710/0,570; на поздней 0,692/0,568/0,414; среднее по образцу 0,740/0,630/0,478.

Среди полученных результатов расчета акустической константы выдержанной древесины ели 14 (35%) образцов и 3 (20 %) образца сосны (заболонь) можно отнести к резонансной, так как $K \geq 12 \text{ м}^4/\text{кг}\cdot\text{с}$. Это еще раз подтверждает, что резонансная древесина изначально формируется лишь в определенных природных условиях и только у некоторых генетических форм деревьев; долгое выдерживание древесины в сооружениях лишь способствует сохранению и улучшению ее резонансных свойств (повышаются жесткость и стабильность физико-механических свойств).

Древесина сосны заболонная и ядровая части характеризуются наиболее низкими значениями акустической константы. У свежей древесины можно отметить обратную закономерность.

Незначительное количество образцов из заболонной части ствола свидетельствует о наличии резонансной древесины у некоторых деревьев этой породы. Подтверждением использования сосны в изготовлении музыкальных инструментов могут служить скрипки великого Страдивари, особенно в раннем периоде его мастерства.

При сравнении RGB-уровней выдержанной древесины ели со свежей можно отметить их маленькие значения (рисунки 4.6-4.9). Отношение RGB-уровней выдержанной древесины к свежей по статистическим средним подставлено в таблице 4.12.

Из-за влияния окружающей среды и старения древесины следует отметить потемнение древесины в процессе естественных химических процессов, эксплуатации, что приводит к уменьшению содержания основных цветов в пределах 12 %. Однако, одно из достоинств выдержанной древесины сосны является незначительное изменение оттенка.

Следует отметить, что при сравнении выдержанной и свежей древеси-

ны ели (и аналогичным образом древесины сосны из заболони и ядра) изменение уровней цветом происходит равномерно и примерно одинаково, то можно сделать предположение, что при выдерживании изменяется оттенок (рисунки 4.6-4.8). Однако, как видно по рисунку 4.9 RGB-уровни меняются практически одинаково у образцов в пределах исследуемой группы. Отсюда следует считать возможным, что цвет не меняется, а изменяется только оттенок как в пределах одной породы или заболонной, или ядровой части древесины.

Таблица 4.12— Отношение RGB-уровней выдержанной древесины к свежей по статистическим средним

№ группы	Наименование группы	Отношение RGB-уровней от максимального значения, %			Среднее значение по трем цветам
		red	green	blue	
1	Выдержанная ель	91	88	85	88
2	Выдержанная древесина сосны (заболонь)	97	99	100	99
3	Выдержанная древесина сосны (ядро)	90	87	87	88

На большой разброс экспериментальных значений RGB-уровней свежей древесины также влияет биологическое и экологическое произрастание.

На основе полученных результатов экспериментальных исследований можно заключить, что древесина, выдержанная в старых сооружениях, отличается высокими акустическими свойствами.

Колориметрические показатели выдержанной и свежей заболонной древесины сосны не имеют существенной разницы.

Значительная взаимосвязь между акустической константой и цветовыми показателями выдержанной древесины не выявлена ($r < 0,3$). Однако данное утверждение требует дополнительной проверки путем углубленных исследований.

В целом можно заключить, что старые деревянные сооружения, подде-

жащие сносу вследствие длительного срока эксплуатации, представляют собой большой практический интерес как источник получения резонансной древесины с уникальными дендроакустическими свойствами, причем наравне с елью может быть использована и древесина сосны.

Результаты исследования древесины половой и потолочной конструкций представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13— 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
...

Окончание таблицы 4.13

Зона потолка из выдержанной древесины сосны				
ПОТ 1-II С1	564,7	428,3	257,3	10,87
ПОТ 1-II С2	545,4	391,1	229,9	10,20
ПОТ 1-II С3	509,7	362,3	211,7	10,96
...

В таблицах 4.14-4.15 представлены основные статистические характеристики образцов древесины, изготовленных из половой и потолочной конструкций.

Таблица 4.14—Статистические характеристики выдержанной древесины пола

Переменная	Объем выборки	Среднее значение	Сумма	Минимум	Максимум	Дисперсия	Стандартное отклонение
Красный	60	650,42	39025,33	483,33	697,33	1574,41	39,689
Зеленый	60	527,66	31659,33	364,33	580,33	1558,62	39,488
Голубой	60	350,11	21006,33	213,00	402,67	1237,30	35,18

В работе сравнивались результаты исследований древесины стен с результатами исследования потолочной и половой конструкции. Установлено, что RGB-уровни выдержанных образцов по значениям ниже свежих. Разница цветов Red, Green и Blue по среднестатистическим уровням представлена в таблице 4.16.

Таблица 4.15—Статистические характеристики выдержанной древесины потолка

Переменная	Объем выборки	Среднее значение	Сумма	Минимум	Максимум	Дисперсия	Стандартное отклонение
Красный	39	674,35	26299,67	621,67	761,33	1041,33	32,27
Зеленый	39	547,74	21362,00	487,00	641,33	1272,20	35,67
Голубой	39	365,61	14258,67	301,33	462,33	1291,07	35,93

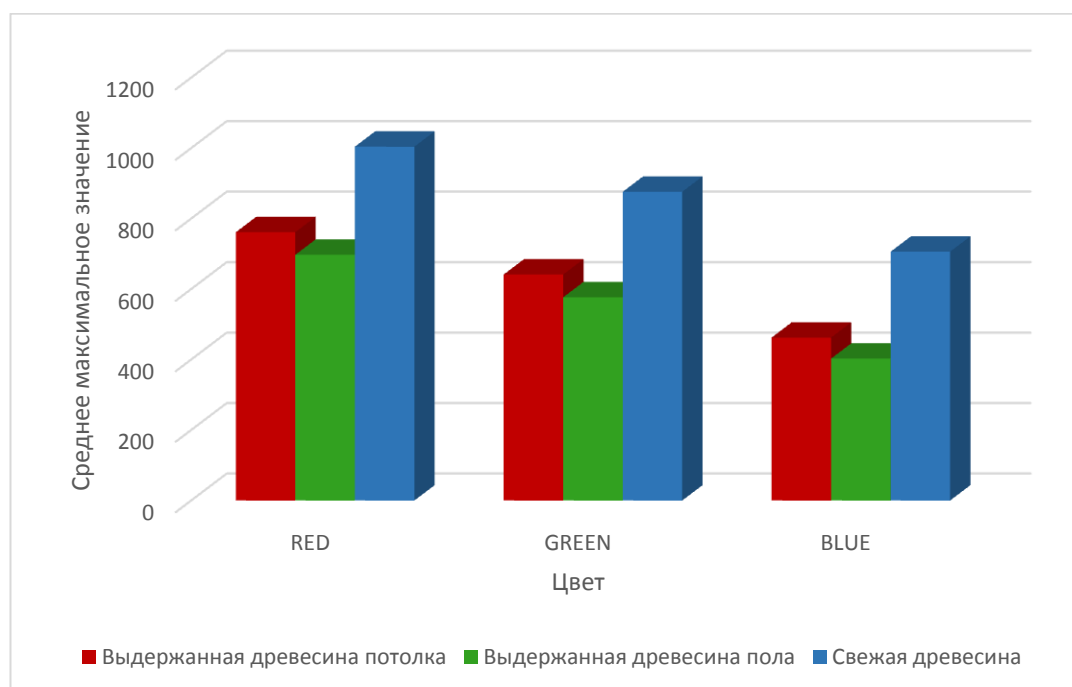


Рисунок 4.10 — Диаграмма сравнения RGB-уровней выдержанной древесины потолка и пола со свежей древесиной

В образцах, изготовленных из древесины стеновой конструкции можно отметить снижение значений RGB-уровней аддитивной моделей по сравнению со свежей: по красному цвету – на 64 %, по зеленому – на 57 %, по синему – на 48 % [51, 52, 59]. 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 4.11).

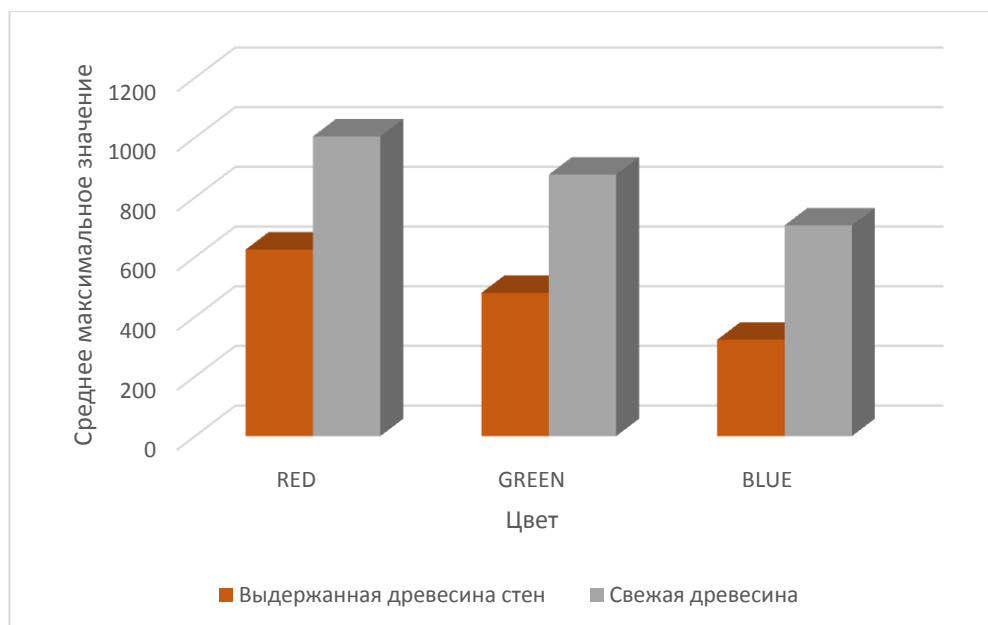


Рисунок 4.11 — Сравнение RGB-уровней выдержанной древесины со свежей древесиной из стеновой конструкции

Таблица 4.16— Отношение RGB выдержанной древесины к свежей по средним статистическим [51]

№ группы	Наименование группы	Отношение RGB, %			Среднее значение по трем основным цветам
		Red	Green	Blue	
1	Выдержанная ель	91	88	85	88
2	Выдержанная сосна, заболонь	97	99	100	99
3	Выдержанная сосна, сердцевина	90	87	87	88

Выдержанные образцы, изготовленные из пола темнее чем свежезаготовленная древесина (рисунок 4.12).



А – выдержанная древесина (пол), Б – свежезаготовленная древесина, В – выдержанная древесина (потолок)

Рисунок 4.12— Визуальная оценка образцов древесины по цвету

4.4 Выводы

Выдержанная в старых сооружениях древесина сосны и ели по своим физико-механическим показателям отличается от свежезаготовленной древесины. Выявлено, что после долгого срока эксплуатации сооружения древесина с южных стен имеет более высокие прочностные показатели, чем у образцов, отобранных из стен, находящихся с других сторон света.

Следует отметить, что выдержанная древесина на 2-4% меньше набирает влажность, чем свежая. Причем не зависит ни от условий кондиционирования, ни от условий хранения. За счет такой стабильности такая древесина может послужить сырьем для изготовления музыкальных инструментов и акустических панелей.

Наблюдается разница в изменении пределов прочности при статическом изгибе в процессе эксплуатации в зависимости от породы, а именно пре-

дел прочности у древесины ели подвергается большему изменению и имеет более высокое значение, чем у древесины сосны. Разницы в изменении других механических показателей в течение эксплуатации в зависимости от породы не обнаружено.

Выдержанная древесина хвойных пород, имеет более высокие акустические свойства по сравнению со свежезаготовленной древесиной. Среди исследуемых образцов акустическая константа примерно равная $12 \text{ м}^4/\text{кг}\cdot\text{с}$ была выявлена выдержанная древесина ели – 5 образцов из 13 (39%); а также заболонной сосны – 3 образца из 13 (23%).

Выявлено, что для выдержанной древесины цвет не меняется и не зависит от породы или части дерева. На оттенок влияют химические процессы и условия эксплуатации. Уровни RGB аддитивной цветовой модели ниже в среднем на 12%. Колориметрические показатели выдержанной и свежей заболонной древесины сосны не имеют существенной разницы.

Значительная взаимосвязь между акустической константой и цветовыми показателями выдержанной древесины не выявлена ($r < 0,3$).

3 Практическая значимость результатов исследований

3.1 Способ экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной древесины в стеновых элементах старого сооружения

Разработанный способ предлагается в использовании для диагностики выдержанной древесины.

На каждом конце конструктивного элемента в радиальном направлении закрепляются планки через сердцевину исследуемой древесины. Крепление должно находиться таким образом, чтобы один находился у внешней стороны исследуемого образца, а другой к ближе к свободному краю. Затем с помощью бурава пробуравливают и измеряют усилие сопротивления древесины

Конструкция используемого бурава отличается от приростного бурава для отбора керна наличием рабочего органа с электронной системой измерения сопротивления пробуравливанию.

Предлагаемый способ защищен патентом РФ № 2665149(приложение Д)[25].

5.2 Способ экспресс-диагностики резонансных свойств древесины в потолочной конструкции старого сооружения

Данный способ используется для определения физико-механических свойств.

Данный способ заключается в следующем. Визуально изучают характерные особенности макроструктуры, отмечают отсутствие внешних дефектов древесины. Ориентируясь по расположению годичных слоев древесины

на пласти помечают краской потолочные доски из хвойных пород радиальной распиловки, которые не содержат пороков древесины. Из средней части доски примерно до середины пласти строго перпендикулярно к ее ребру с помощью пилы-лобзика выпиливают прямоугольный параллелепипед шириной 25 мм, из которого изготавливают один цельный образец по этой ширине. Длина образца должна находиться строго в пределах той зоны, куда не входят ювенильная древесина (центральная часть) и периферийная часть, где отсутствует равнослойность макроструктуры. Для достижения этих условий внутреннюю границу образца устанавливают, отходя на 10-15 мм от сердцевинной трубки, а внешнюю границу — на такое же расстояние, но отходя от ребра кромки. Затем на электронном дендрометре изучают макроструктуру. Сравнивая полученные результаты с необходимыми требованиями определяют соответствие о пригодности материала в качестве резонансного. Данный способ защищен патентом РФ № 2739928 (приложение Е) [26].

5.3 Техничко-экономическое обоснование получения резонансных заготовок из разных частей старого сооружения

Все деревянные сооружения различаются между собой по общему объему древесины в зависимости от горизонтальных и вертикальных размеров. К тому же в соответствии с индивидуальными особенностями проекта конструкции сильно варьирует и относительный объем используемой древесины в каждом отдельном элементе — в стенах, на потолке и в полу.

Стеновая часть дома. Применительно к объекту исследований, жилому дому размерами 5,0×5,0×3,5 м — бревна средней толщиной 26 см, общий объем древесины 4-х стен составил 13,8 м³.

Полезный выход делового материала из бревен с учетом естественного износа и пороков строения древесины (преимущественно трещины усушки) условно для примерных расчетов принято 50%, то есть 6,9 м³.

Поскольку резонансные заготовки из круглых лесоматериалов получают, как правило, исключительно путем радиальной распиловки, их максимальный удельный выход не превышает 3-5% от общего объема [11, 31]. В данном случае этот показатель колеблется в пределах 0,27 – 0,35 м³.

Из этих расчетов видно, общий объем получения резонансных заготовок из бревен стен составляет в среднем 0,3 м³.

На мировом рынке средняя цена сертифицированных заготовок с высокими акустическими показателями сегодня колеблется в пределах 30-50 тыс. долларов за один кубометр. Такая цена получается расчетным путем, так как за рубежом резонансная древесина реализуется не по объему, а по весу с точностью до грамма или поштучно в готовых дощечках для изготовления деки (для справки: цена одной дощечки размерами 400×100×20 мм для изготовления деки скрипки составляет 160- 170 долларов).

Следовательно, использование состаренной древесины в стеновой конструкции дома в качестве резонансного сырья позволяет получить экономический эффект в пределах 9,0 – 15,0 тыс. долларов.

Потолочная и половая части дома. Для изготовления этих конструкций отбирают, как правило, сердцевинные доски максимальной ширины, то есть получаемые путем радиальной распиловки.

Следовательно, по сравнению со стеновыми бревнами дома полезный выход резонансных заготовок из потолочных и половых досок гораздо выше. Например, при изготовлении опытных образцов в виде дощечек размерами, соответствующими для деки смычковых инструментов, согласно ТУ 205 РСФСР 08.866-89, полезный выход составил в пределах 65-72 % от объема досок; для дальнейших расчетов примем 68 %.

Общий фактический объем древесины в потолочных и половых частях, пригодной для изготовления резонансных заготовок, получился примерно 4,4 м³. Полезный объем конечной продукции в виде резонансных заготовок му-

зыкальных инструментов, например, скрипок, составил примерно $2,9 \text{ м}^3$, что в денежном выражении достигает 58,0 – 87,0 тыс. долларов.

Таким образом, 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 %.

Относительно высокая экономическая эффективность достигается при использовании материала потолочной и половой частей.

Однако эти результаты характеризуют лишь экономическую сторону использования. При отборе материала нужно исходить в первую очередь из акустических, колориметрических и других физико-механических свойств материала в конструкционных элементах индивидуально в каждом сооружении, а также учитывать их расположение относительно сторон света [63].

Важно отметить, что в случае изготовления резонансных заготовок из свежесрубленной древесины традиционной технологией, включающей достаточно большой цикл работ по лесозаготовке, вывозке лесоматериала до нижнего склада, деревообработке, сушке, хранению и т.д., себестоимость кубометра резонансных сортиментов резко возрастает и, соответственно, значительно ниже будет экономическая эффективность.

5.4 Выводы

В данном разделе представлены способы экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной древесины в различных конструкциях старого сооружения.

Многие стандарты на технические условия и методы физико-механических испытаний свойств древесины были приняты в СССР. Большая часть из них подразумевает применение разрушающих методов. Не является

исключением ГОСТ 16483.31—74 [10] и ГОСТ Р 58459—2019 [11], который также для измерения физико-механических показателей ссылается на вышеперечисленные. Одним из требований к образцам является изготовление стандартных образцов в виде брусков размерами 20×20×300 мм.

В качестве рекомендаций предлагается проект стандарта организации «Методика отбора и испытаний резонансной выдержанной древесины из строений» (приложение Г) [31].

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 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация посвящена комплексному исследованию акустических и физико-механических свойств древесины ели и сосны в разных элементах конструкции старого сооружения после длительной эксплуатации.

Следует отметить нехватку резонансного материала. Отсутствует практика переработки отходов и материалов.

Одной из основных причин, сдерживающих эффективное использование резонансной древесины в сооружениях и зданиях после нормативных сроков их эксплуатации на всей территории Российской Федерации, особенно в таежных лесорастительных регионах, где в качестве основного строительного материала издревле используется древесина хвойных пород, является отсутствие необходимых технических средств и соответствующих методик для экспресс диагностики резонансных и других ее физико-механических свойств древесины старого сооружения; кроме того, до настоящего времени отсутствуют стандарты на технические условия и неразрушающие методы.

Во многом такой пробел в целевом использовании выдержанной десятилетиями старой древесины в качестве резонансного сырья объясняется недостаточным объемом соответствующих научных исследований.

Для решения этих вопросов проводились экспериментальные исследования физико-механических, акустических и колориметрических свойств выдержанной древесины ели и сосны. В качестве научного объекта был отобран бревенчатый нежилой дом со сроком эксплуатации более 70 лет в северной части Республики Марий Эл; по лесорастительным условиям территория входит в зону южной тайги с преобладанием хвойных древесных пород.

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

1. Установлено, что выдержанная древесина сосны и ели в сооружениях по акустическим 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 — 14 образцов из 40 (35 %); заболонной сосны — 3 образца из 15 (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 сосвежеспиленной 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%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев, Н.Н. О дереве для музыкальных инструментов / Н.Н. Андреев // Сб. тр. / НИИМЦ. - Москва; Ленинград, 1938 — Вып. 1 — С. 11-18.
2. Боровиков, А.М., Уголев, Б.Н. Справочник по древесине / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев // М.: Лесная промышленность, 1989 — 280 с.
3. Варфоломеев, Ю.А., Изменение свойств древесины при длительной эксплуатации (на примере памятников деревянного зодчества Архангельской области) / Ю.А. Варфоломеев, Г.Ф. Потуткин, Л.Г. Шаповалова // Деревообрабатывающая промышленность. — М., 1990. — №10. — с.28-30.
4. Витачек, Е.Ф. Очерки по истории изготовления смычковых инструментов / Е.Ф. Витачек // — М.: Музыка, 1964. — 341 с.
5. ГОСТ 16483.1-84. Древесина. Методы определения плотности волокон [Электронный ресурс]. – Введ. 1975–07–01. – Электрон. дан. // Техэксперт: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200008349>.
6. ГОСТ 16483.3-84. Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе волокон [Электронный ресурс]. – Введ. 1975–07–01. – Электрон. дан. // Техэксперт: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200008473>.
7. ГОСТ 16483.7-71. Древесина. Методы определения влажности. [Электронный ресурс]. – Введ. 1973–01–01. – Электрон. дан. // Техэксперт: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200008419>.
8. ГОСТ 16483.10-73 Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон [Электронный ресурс]. – Введ. 1974–07–01. – Электрон. дан. // Техэксперт: электронный фонд правовой и

нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200014949>.

9. ГОСТ 16483.21-72 Древесина. Методы отбора образцов для определения физико-механических свойств после технологической обработки[Электронный ресурс]. – Введ. 1974–01–01. – Электрон. дан. // Техэксперт: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа:<https://docs.cntd.ru/document/1200014960>.

10. ГОСТ 16483.31-74 Древесина. Резонансный метод определения модулей упругости сдвига и декремента колебаний[Электронный ресурс]. – Введ. 1975–07–01. – Электрон. дан. // Техэксперт: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200014970>.

11. ГОСТ Р 58459—2019 Конструкции деревянные. Определение нормативных и расчетных значений механических свойств древесины и материалов на ее основе [Электронный ресурс]. – Введ. 2020–06–01. – Электрон. дан. // Техэксперт: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа:<https://docs.cntd.ru/document/1200169328>.

12. Гусев, Б.П. Преображенская церковь в Кижях. Учет свойств и состояния древесины сруба в ходе реставрации / Б.П. Гусев // Актуальные проблемы исследования и спасения уникальных памятников деревянного зодчества. — С.-Пб., 1999. — С.106-112.

13. Дьяконов, Н.А. Производство роялей и пианино / Н.А. Дьяконов. — М.: Росгизместпром, 955. – 370 с.

14. Исаева, Т.И. Исследование свойств древесины и древесных материалов/ Т.И.Исаева, Н.К Брюханова // Сб. трудов Института леса и древесины СО АН СССР. — Красноярск, 1969.

15. Кесккюлла, Т.Э. Работоспособность сельскохозяйственных производственных зданий: — Докторская диссертация / Т.Э. Кесккюлла // Тарту, — 1986 — 398 с.

16. Комплексные исследования микроструктуры древесины резонансной ели / Е.С. Чавчавадзе, В.И. Федюков, Т.А. Макарьева и др.; Марийск. гос. техн. ун-т. — Йошкар-Ола, 1997. — 11 с — Библиогр.: 10 назв. — Деп. В ВИНТИ 11.08.0 2666-В97.

17. Козлов, В.А. Методические основы оценки состояния древесины Преображенской церкви в музее-заповеднике «Кижы» / В.А. Козлов, В.И. Крутов, М.В. Кистерная // Труды II Международного симпозиума «Строение, свойства и качество древесины-96», октябрь 1996 г. МГУЛ. — М., С.307-312.

18. Мелехов, И. С. Древесина северной ели / И.С. Мелехов, доц. Архан. лесотехн. ин-та. — Ленинград:Гослестехиздат, 1934.

19. Мелехов, И.С. Леса Архангельской и Вологодской областей / И.С. Мелехов, В.Г. Чертовской, Н.А. Моисеев // Леса СССР. — т.1. — М., — 1966, — С.78-156.

20. Мочаева, Т. В. Повторное использование древесины в контексте концепции устойчивого развития / Т.В. Мочаева, В. И. Федюков, М. С. Чернова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Экономика и управление. — 2020. — № 3 (47). — С. 65-77. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2800.2020.3.65>.

21. Онегин, В.И. Исследование строения хвойной древесины и его влияния на физико-механические и акустические свойства древесного вещества / В.И. Онегин, Е.Г. Кузнецова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. — С-Пб.:СПбГЛТУ, 2012, Вып. 199. - С. 192-202.

22. Пат. 2448811 Российская Федерация, МПК В23В 25/06 (2006.01). Устройство для измерения сопротивления сверлению / Шарапов Е.С., Чернов В.Ю., Чернов Ю.В. — № 2010145313/28; заявл. 08.11.2010; опубл. 27.04.2012. Бюл. № 12. —С. 3.

23. Пат. 2439561 РФ, МПК G 01 N 33/46. Способ ранней диагностики резонансных свойств древесины / В. И. Федюков, Е. Ю. Салдаева, А. Л. Васенев; заявитель и патентообладатель МарГТУ. – RU 2439561 С2; заявл. 26.03.2009; опубл. 10.01.2012, Бюл. изобрет. – 2012. – № 1.

24. Пат. 2523033 РФ, МПК G 01 N 33/46. Способ ранней диагностики резонансных свойств древесины / В. И. Федюков, Е. Ю. Салдаева, Е. А. Васенев; заявитель и патентообладатель МарГТУ. – RU 2523033 С2; заявл. 21.03.2012; опубл. 20.07.2014, Бюл. изобрет. – 2014. – № 20.

25. 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.

26. Пат. 2739928 Российская Федерация, МПК A01G 23/00 (2006.01), A01N 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.

27. Патент РФ на изобретение №1802767 Способ искусственного старения резонансной древесины. / Янковский Б.А., Пищик И.И., и др. — 29.06.1972 г.

28. Пищик, И.И. О химическом составе и физических свойствах свежей и выдержанной древесины / И.И. Пищик, В.В. Фефилов, Ю.И. Бурковская // Изв. Вузов. Лесной журнал. — Архангельск, 1971. — №6, — С. 89-93.

29. Пищик, И. И. Исследование свойств древесины длительной выдержки как материала для музыкальных инструментов: автореф. дис... канд. техн. наук / И. И. Пищик. – М., 1973. – 22 с.

30. Способ ускоренного старения древесины. / Пищик И.И. и др. А.с. № 719870 — опубл. 18.04.1978.

31. 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.

32. Пищик, И.И. Датирование древесины длительной выдержки неразрушающими методами: дис... д-ра. техн. наук / И.И. Пищик. — М.: МГУЛ, 2004. — 356 с.

33. Пищик, И. И. Датирование памятников из древесины: монография / И. И. Пищик; М-во образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВПО «Московский гос. ун-т леса». — Москва: Изд-во Московского гос. ун-та леса, 2014. — 161 с.

34. Промышленность музыкальных инструментов [Электронный ресурс]: публичная декларация Министерства промышленности и торговли РФ. — URL: http://minpromtorg.gov.ru/open_ministry/declaration/main/ (дата обращения: 22.02.2021).].

35. Кальнинш, А.И. Связь свойств древесины с условиями произрастания / А.И. Кальнинш // Тр. Ин-та леса АН СССР. — 1949. — Т. 1У. — С. 98-101.

36. 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.

37. Никитин, М.К. Модификация древесины памятников деревянного зодчества: учебное пособие. / М.К. Никитин, А.Х. Ошкаев // ПГУ. — Петрозаводск, 1992. — 112 с.

38. Никитина, Т.А. Технический ресурс ретродревеси́ны хвойных пород в элементах древесных конструкций: Кандидатская диссертация / Т.А. Никитина — Архангельск: ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова», 2021. — 132 с.
39. Римский-Корсаков, А. В. Музыкальные инструменты. Методы исследований и расчеты / А. В. Римский-Корсаков, Н. А. Дьяконов. — М.: Лесн. пром-ть, 1952. — 5 с.
40. Особенности свойств модифицированной древесины / К.А. Рощенс и др. — Рига: Зинатне, 1983. — 207 с.
41. Способ обработки древесины. / В.И. Федюков, Т.А. Макарьева и др. Патент РФ на изобретение № 2034697. — Оpubл. 04.11.92.
42. Тарасов, О.Ю. Икона и благочестие / О.Ю. Тарасов М.: Прогресс-культура, 1992. — 171 с.
43. Терентьев, В.Я. Механические свойства древесины сосны после длительной эксплуатации в несущих конструкциях зданий / В.Я. Терентьев, Н.И. Никонов, Р.И. Сушинская // Деревообрабатывающая промышленность. — 1998. №7. — С.15-17.
44. Тюриков, В.Ю. Сохранность древесины / В.Ю. Тюриков, Г.А. Тюрикова // Форум молодых ученых. — Саратов: ООО «Институт управления и социально-экономического развития», — №5-3(21), 2018. С. 482-484.
45. Уголев, Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник / Б. Н. Уголев. — 5-е перераб. и доп. изд. — М.: МГУЛ, 2007. — 353 с.
46. Федюков, В. И. Резонансная ель для реконструкции Большого театра / В. И. Федюков, Е. Ю. Салдаева // Лесное хозяйство. — 2011. — № 2. — С. 13-14.
47. Федюков, В. И., Резонансная древесина / В.И. Федюков, Е. Ю. Салдаева. // Дерево RU. — 2011. — № 3. — С. 144- 147.
48. Федюков, В. И. Стандартизация резонансной древесины: необходимо совершенствование / В. И. Федюков, Е. Ю. Салдаева, Е. М. Цветкова //

Стандарты и качество. – 2014. – № 4. – С. 54-57.

49. Федюков, В.И. Ель резонансная: отбор на корню, выращивание, целевое использование: монография / В. И. Федюков. — Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. — 256 с.

50. Федюков В.И. Состояние и перспективы отбора, целевого использования и выращивания резонансной древесины в лесах России // Лесн. журн. 2016. № 5. С. 142–156.

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

52. 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.

53. 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.

54. Физико-механические свойства древесины лиственницы при длительной эксплуатации. / Шаповалова Л.Г. и др. // Труды II Международного симпозиума Строение, свойства и качество древесины—96, октябрь 1996. — МГУЛ. —М., — С.246-250.

55. 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.

56. 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 Международной научно-практической конференции (Йошкар-Ола, 21-22 мая, 2019 г.). – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. - С. 209-213.

57. 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.,

58. 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.

59. 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.

60. 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.

61. 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.

62. Чернова, М.С. 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 Международной научно-практической конференции молодых преподавателей, аспирантов и студентов. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2020. - С. 113-115.

63. 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.

64. Шамаев, В.А. Разработка научных основ химико-механического модифицирования древесины: автореф. дис... д-ра. техн. наук / В. А. Шамаев. – М., 1992. – 44 с.

65. Шмелев, Г.Д. Обоснование возможности повторного использования строительных материалов и конструкций / Г.Д. Шмелев, Е.А. Крючкова, А.К. Епишева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. — №1(8). — Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2019. – С. 25-35.

66. Энергосбережение типового деревянного дома в различных регионах России / З. Пастори, Г. А. Горбачева, В. Г. Санаев, З. Борчок // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2019. – Т. 23. – № 5. – С. 101-107.
67. Biomorphology of spruce trees as a diagnostic attribute for non-destructive selection of resonant wood in a forest / Fedyukov V.I., Saldaeva E.Y., Chernova M.S., Chernov V.Y., South-EastEur (2018) 9 (2): Pp. 147-153. DOI: <https://doi.org/10.15177/seeefor.18-11>.
68. Bucur, V. Acoustics of Wood / V. Bucur. — Berlin: Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2006. — 393 p.
69. Bucur, V Handbook of Materials for String Musical Instruments / V. Bucur. — Springer International Publishing, Switzerland, 2016 — Pp. 283- 287.
70. Dependence of spruce wood resonance properties on its chemical composition Fedyukov V.I., Boyarsky M.V., Saldaeva E.Y., Chernova M.S., Chernov V.Y. // Wood Research. 2018 63 (5): P.887-894.
71. Fedyukov, V.I., Shurgin A.I., Saldaeva E.Yu., Tsvetkova E.M. Theoretical studies and measurements of elastic-acoustic performance of wood with different methods for selection of resonant growing crop // Wood Research. 2015. — No. 60 (3). Pp. 417-428.
72. Fedyukov, V. Strength of aged wood in old constructions / Fedyukov, V., Chernov, V., Chernova M. Original Scientific Paper // Journal of Applied Engineering Science, —2020 No 18(1) — Pp. 114-119.
73. Froidevaux J., Navi P. Ageing law of wood / Froidevaux J., Navi P. Wood Mat Sci Eng. — 2013. No. 8(1) — Pp. 46–52.
74. Froidevaux J., Viscoelastic behaviour of aged and non-aged spruce wood in radial direction / J. Froidevaux, T. Volkmer, C. Ganne-Chedeville, J. Gril, P. Navi. // Wood Mat SciEng — 2012. No. 7 Pp. 1–12.
75. Huber, F. Definition de caracteristiques simples decrivant les arbres et le bois de l'epicea commun (Picea excelsa Link) et pouvant etre prises en compte pour reevaluation de la ressource en bois de resonance (station de recherches sur la

gualitedes bois) / F. Huber, — INRA. Centre de recherchesforestiers. ChampenouxSeichamps. — 1989. — 38 s.

76. Ille R. Rezonaromidiavosmrku pro mistrovskflhousle / R. Ille // Drevo. — 1979. No. 34. — S. 303-304.

77. Kránitz, K., Mater Struct / K. Kránitz, M. Deublein, P. Niemz // 2014 47: 925. URL: <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0103-8>.

78. Kránitz, K. Effect of natural aging on wood: Doctoral Thesis / Kránitz, K. — ETH-Zürich: MSc. Wood Technology, University of West Hungary, 2014. — 193 c. URL: <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010388674>.

79. Moisture behavior of recent and naturally aged wood /Gereke T., Anheuser K., Lehmann E., Kranitz K., Niemz P. // Wood Research. — 2011. — No. 56(1) — Pp. 33-42.

80. Noguchi, T. Effects of aging on the vibrational properties of wood / E. Obataya, K. Ando // Journal of Cultural Heritage. 2012. No. 13. — S.21-25.

81. Studying Changes in the Structure of Thermally Modified Beech Wood by IR Fourier Spectroscopy / G. A. Gorbacheva, V. G. Sanaev, A. V. Bazhenov, I. Shukhanova // Inorganic Materials: Applied Research. — 2020. — Vol. 11. — No 4. — P. 919-924

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Результаты ультразвуковых исследований выдержанной древесины

Образец	Масса? г			Размеры, мм при влажности 12%			Среднее время распространения упругой продольной волны τ , мкс	Плотность ρ_{12} , кг/м ³	Модуль упругости, Н/м ³	Скорость распростр. звука С, м/с	Акустическая константа, К, м ⁴ /кг·с
	m	m0	m12	a	b	l					
Север (ель)											
С VI-1-Н-I	56,4	54,6	61,5	20,70	21,00	300	61,2	472	$1,13 \times 10^{10}$	4904,5	10,4
С VIII-2-В-II	55,3	53,6	60,1	20,70	22,00	300	56,4	440	$1,25 \times 10^{10}$	5322,9	12,1
С VIII-3-Н-II	47,1	45,2	51,0	19,00	21,95	300	59,8	408	$1,02 \times 10^{10}$	5013,8	12,3
С VIII-4-Н-II	53,4	51,7	58,3	20,60	20,70	300	57,7	456	$1,23 \times 10^{10}$	5195,3	11,4
С VI-2-Н-I	55,3	53,5	60,4	20,70	20,90	300	53,7	465	$1,45 \times 10^{10}$	5583,2	12,0
С VI-1-Н-II	53,2	51,0	55,3	20,60	20,50	300	61,4	436	$1,04 \times 10^{10}$	4888,8	11,2
С VI-1-В-I	54,4	51,5	56,6	20,50	20,90	300	59,8	440	$1,11 \times 10^{10}$	5020,0	11,4
С VIII-3-Н-I	50,0	48,3	52,3	20,60	20,40	300	68,9	415	$7,87 \times 10^{10}$	4355,8	10,5
С V-2-Н-I	52,5	49,4	54,7	20,60	20,80	300	64,1	426	$9,32 \times 10^9$	4680,9	11,0
С V-2-Н-II	54,4	52,1	57,3	20,70	21,80	300	59,1	423	$1,09 \times 10^{10}$	5079,1	12,0
Запад (ель)											
З VI-2-Н-I	52,2	50,1	56,5	20,70	20,80	300	56,2	437	$1,25 \times 10^{10}$	5336,5	12,2
З XII-2-В-I	51,8	48,4	52,9	20,10	20,10	299	56,7	440	$1,22 \times 10^{10}$	5274,9	12,0
З XII-4-В-I	50,6	47,5	53	20,40	20,80	300	61,8	419	$9,88 \times 10^9$	4857,0	11,6
З XII-5-Н-I	53,3	50,2	54,9	20,40	21,00	300	57,2	426	$1,17 \times 10^{10}$	5244,6	12,3
З XII-1-Н-II	54,3	49,6	56,1	20,10	20,40	300	56,7	456	$1,28 \times 10^{10}$	5290,2	11,6
З XII-3-Н-II	53,2	50,3	56,9	20,10	20,80	300	59,6	454	$1,15 \times 10^{10}$	5035,6	11,1

Продолжение приложения А

З XII-3-В-I	51,5	47,3	54,6	20,40	20,70	300	63,9	431	$9,51 \times 10^9$	4697,8	10,9
З XII-3-Н-I	54,6	51,2	58,1	20,20	20,50	300	57,8	468	$1,26 \times 10^{10}$	5191,3	11,1
З VI-2-В-I	51,6	49,7	53,7	20,50	20,90	300	61,9	418	$9,81 \times 10^9$	4846,3	11,6
З VI-1-В-I	52,6	48,4	54,8	20,40	20,70	300	60,3	433	$1,07 \times 10^{10}$	4974,6	11,5
Юг (ель)											
Ю IV-1-В-I	55,2	53,4	59,8	20,20	20,30	299	49,0	488	$1,81 \times 10^{10}$	6096,7	12,5
Ю IX- 1-В-II	50,9	49,3	55,2	18,60	21,00	300	49,4	471	$1,74 \times 10^{10}$	6076,8	12,9
Ю IX-2-Н-I	54,8	52,9	59,3	20,20	21,00	299	55,6	468	$1,35 \times 10^{10}$	5376,6	11,5
Ю IX-2-Н-II	54,3	52,2	58,3	20,50	20,80	300	52,7	456	$1,48 \times 10^{10}$	5696,9	12,5
Ю IV-2-В-I	48,0	46,6	52,4	18,40	21,00	299	49,9	454	$1,62 \times 10^{10}$	5986,8	13,2
Ю IV-1-В-II	48,3	46,5	52,1	20,00	20,40	300	63,5	426	$9,50 \times 10^9$	4724,8	11,1
Ю IV-1-Н-I	47,4	45,9	51,5	19,00	20,90	300	56,0	432	$1,24 \times 10^{10}$	5360,5	12,4
Ю IV-2-Н-I	51,3	49,1	55,7	18,80	20,80	299	51,4	476	$1,61 \times 10^{10}$	5812,0	12,2
Ю IV-1-Н-II	55,2	53,2	59,5	20,60	20,80	299	61,9	464	$1,08 \times 10^{10}$	4830,0	10,4
Ю IV-2-В-II	53,7	50,5	55,7	20,10	20,50	300	60,0	451	$1,13 \times 10^{10}$	5001,6	11,1
Восток (ель)											
В VII-4-В-I	52,6	49,5	55,2	20,80	20,90	299	62,3	425	$9,78 \times 10^{10}$	4798,8	11,3
В VII-2-В-I	56,8	53,6	58,4	20,20	20,25	299	54,5	477	$1,44 \times 10^{10}$	5491,1	11,5
В V-5-Н-I	56,34	52,7	58,7	20,20	21,00	299	56,2	463	$1,31 \times 10^{10}$	5322,2	11,5
В VII-1-Н-I	55,1	52,3	57,6	20,20	20,00	300	54,41	475	$1,44 \times 10^{10}$	5512,9	11,6
В V-1-Н-I	54,4	50,6	56,5	19,30	20,30	300	52,0	481	$1,60 \times 10^{10}$	5768,4	12,0
В V-4-Н-I	51,1	48,7	54,4	20,00	20,70	299	59,2	439	$1,12 \times 10^{10}$	5053,9	11,5
В V-2-Н-I	49,9	47,0	52,3	20,00	20,60	300	62,2	423	$0,98 \times 10^{10}$	4823,8	11,4
В V-3-Н-II	50,84	48,1	52,8	20,10	20,70	300	61,7	423	$1,00 \times 10^{10}$	4864,6	11,5
В V-6-Н-I	60,77	57,88	62,8	20,40	20,40	290	46,4	520	$2,03 \times 10^{10}$	6244,3	12,0

Продолжение приложения А

В V-1-Н-II	53,6	51,89	55,4	20,10	20,70	299	56,9	445	$1,23 \times 10^{10}$	5254,8	11,8
Север (заболонная сосна)											
С X-2-В-III	54,4	52,5	58,8	20,40	20,50	290	59,2	485	$1,16 \times 10^{10}$	4896,8	10,1
С X-4-Н-II	50,9	49,2	55,1	20,50	20,60	300	60,0	435	$1,09 \times 10^{10}$	5001,6	11,5
С X-5-Н-II	46,3	44,7	50,1	20,40	20,90	299	63,4	393	$0,87 \times 10^{10}$	4716,0	12,0
Запад (заболонная сосна)											
3 VIII-2-Н-II	53	51,2	57,4	19,90	20,30	300	54,6	474	$1,43 \times 10^{10}$	5494,1	11,6
3 VIII-3-Н-II	44,7	43,1	48,3	17,80	20,30	299	55,3	447	$1,31 \times 10^{10}$	5409,4	12,1
3 VIII-4-Н-III	52,7	50,9	57	20,30	20,50	299	55,8	458	$1,32 \times 10^{10}$	5359,7	11,7
3 VIII-5-Н-I	55,9	54,1	60,6	20,60	20,80	300	56,8	471	$1,31 \times 10^{10}$	5280,1	11,2
3 X-3-В-II	53,1	51,3	57,5	20,20	20,40	310	65,0	450	$1,02 \times 10^{10}$	4771,2	10,6
3 X-3-Н-I	38,9	37,6	42,1	18,80	20,50	310	72,1	352	$6,5 \times 10^9$	4299,0	12,2
Юг (заболонная сосна)											
Ю XI-2-В-I	51,3	49,6	55,5	15,80	20,30	299	57,4	579	$1,57 \times 10^{10}$	5208,5	9,0
Ю XI-1-Н-I	68,9	66,5	74,5	19,60	20,60	299	53,2	617	$1,95 \times 10^{10}$	5615,7	9,1
Ю XI-3-Н-I	74,8	72,3	80,9	20,50	20,70	299	54,5	638	$1,92 \times 10^{10}$	5483,4	8,6
Ю XI-1-Н-II	68,2	65,9	73,8	19,50	20,70	280	55,7	653	$1,65 \times 10^{10}$	5027,9	7,7
Восток (заболонная сосна)											
В V-3-Н-I	51,2	49,4	55,4	20,00	20,50	290	66,2	466	$8,94 \times 10^9$	4379,8	9,4
В V-2-Н-II	51,1	49,3	55,3	20,00	20,80	290	61,4	458	$1,02 \times 10^{10}$	4721,4	10,3
Восток (ядровая сосна)											
В VII-1-В-I	52,1	50,3	56,3	20,80	20,90	299	59,0	433	$1,11 \times 10^{10}$	5067,7	11,7
В VII-2-В-I	56,7	54,8	61,3	20,20	20,30	299	58,1	500	$1,33 \times 10^{10}$	5149,7	10,3
В VII-5-Н-I	80	77,3	86,6	20,80	20,90	300	58,7	664	$1,74 \times 10^{10}$	5113,0	7,7
В V-6-Н-I	60,8	58,7	65,8	20,40	20,40	290	68,2	545	$9,86 \times 10^9$	4252,7	7,8

Продолжение приложения А

В VII-3-Н-I	68,5	66,2	74,1	20,10	20,5	299	60,6	601	$1,46 \times 10^{10}$	4931,9	8,2
В V-2-В-I	56,9	55,1	61,7	20,50	21,00	290	55,4	494	$1,36 \times 10^{10}$	5238,7	10,6
В V-3-В-I	53,3	51,5	57,6	19,50	20,50	300	55,8	480	$1,39 \times 10^{10}$	5379,4	11,2
В V-1-Н-I	54,4	52,5	58,8	19,30	20,40	300	56,8	498	$1,39 \times 10^{10}$	5276,8	10,6
В V-2-Н-I	49,8	48,2	53,9	20,00	20,70	290	61,5	449	$9,98 \times 10^9$	4713,9	10,5
В V-4-Н-I	51,1	49,3	55,2	19,80	20,40	290	75,0	471	$7,04 \times 10^9$	3864,2	8,2
В V-1-Н-II	53,4	51,2	58,3	20,10	20,70	290	60,0	483	$1,12 \times 10^{10}$	4831,7	10,0
Север (ядровая сосна)											
С X-4-Н-I	54,4	52,8	59,5	20,70	21,40	290	60,7	463	$1,05 \times 10^{10}$	4770,6	10,3
С X-2-В-II	57,3	55,5	61,4	20,40	20,60	299	63,1	489	$1,10 \times 10^{10}$	4739,9	9,7
С X-1-В-III	60,3	58,3	65,3	20,40	20,50	300	72,0	520	$9,02 \times 10^9$	4163,9	8,0
С X-1-В-II	58,7	56,3	62,5	20,10	20,10	300	57,6	516	$1,40 \times 10^{10}$	5208,2	10,1
С X-1-Н-II	52,5	50,2	57,3	19,30	20,50	299	61,7	484	$1,14 \times 10^{10}$	4843,6	10,0
С X-2-Н-II	52,1	50,2	56,7	19,30	20,60	299	60,8	477	$1,15 \times 10^{10}$	4912,7	10,3
С X-3-Н-II	49,3	47,9	53,5	20,40	20,60	299	64,4	426	$9,17 \times 10^9$	4641,0	10,9
С X-1-Н-III	51,2	49,8	56,1	19,20	20,50	300	60,7	475	$1,16 \times 10^{10}$	4941,1	10,4
С X-2-Н-III	54,3	52,6	58,5	20,00	20,60	300	55,1	473	$1,40 \times 10^{10}$	5443,0	11,5
С X-5-Н-III	37,6	36,3	40,5	17,70	20,50	300	69,3	373	$6,98 \times 10^9$	4326,5	11,6
С X-3-Н-I	52,5	50,2	54,9	19,90	20,10	300	57,0	458	$1,26 \times 10^{10}$	5261,4	11,5
Юг (ядровая сосна)											
Ю XI-4-Н-II	69,25	67,14	71,6	20,00	20,10	300	56,1	594	$1,70 \times 10^{10}$	5343,3	9,0
Ю XI-4-Н-I	75,7	73,1	81,8	21,20	21,30	300	55,2	604	$1,78 \times 10^{10}$	5434,5	9
Ю XI-3-Н-II	71,3	68,9	77,2	20,10	20,90	300	56,9	613	$1,70 \times 10^{10}$	5268,1	8,6
Ю XI-3-Н-I	72,54	70,1	76,71	20,00	19,90	300	56,3	642	$1,83 \times 10^{10}$	5332,4	8,3
Ю XI-3-Н-III	70,52	68,65	72,47	19,90	20,10	300	64,5	604	$1,31 \times 10^{10}$	4650,3	7,7

Окончание приложения А

Запад (ядровая сосна)											
3 XII-2-B-I	57,8	53,6	60,1	20,40	20,70	299	55,10	476	$1,40 \times 10^{10}$	5426,3	11,4
3 XII-3-B-I	56,2	52,7	58,9	20,80	20,90	290	54,9	467	$1,30 \times 10^{10}$	5279,4	11,3
3 XII-3-B-II	55,26	53,41	57,68	20,30	20,40	300	55,2	464	$1,367 \times 10^{10}$	5432,0	11,7

Приложение Б

Результаты ультразвуковых исследований свежей древесины

Таблица 1Б - Результаты ультразвуковых исследований свежей древесины

Номер образца	Масса, г			Размеры, мм			Время распространения упругой продольной волны τ_{cp} , с	Плотность, ρ_{12} , кг/м ³	Модуль упругости, Н/м ²	Скорость распространения звука C , м/с	Акустическая константа, м ⁴ / кг·с
	m	m_0	m_{12}	a	b	l					
Ель											
1	57,7	55,8	62,5	19,7	19,8	300	58,5	534	$1,40 \times 10^{10}$	5127	9,6
2	58,9	56,9	63,7	19,7	19,6	300	59,3	550	$1,41 \times 10^{10}$	5059	9,2
3	59	57	63,9	19,5	19,4	300	54,4	563	$1,71 \times 10^{10}$	5518	9,8
4	57,3	55,4	62,5	19,9	19,8	300	60,4	529	$1,31 \times 10^{10}$	4970	9,4
5	57,5	54,9	62,5	19,8	19,8	300	59,4	531	$1,35 \times 10^{10}$	5048	9,5
6	56,3	53,9	61,9	19,9	19,9	300	59,4	521	$1,33 \times 10^{10}$	5054	9,7
7	59,8	57,4	63,4	19	19,5	300	53,7	570	$1,78 \times 10^{10}$	5590	9,8
8	57,8	54,9	62,5	19,7	19,6	300	57,3	540	$1,48 \times 10^{10}$	5234	9,7
9	56,4	54,5	63,8	19,9	19,9	300	60,1	537	$1,34 \times 10^{10}$	4994	9,3
10	55,9	53,4	63,4	19,6	19,9	300	60,2	542	$1,34 \times 10^{10}$	4985	9,2

Окончание таблицы 1Б

Ядровая сосна											
1	53,7	51,9	58,1	19,6	19,5	300	60,4	507	$1,25 \times 10^{10}$	4966	9,8
2	50,1	48,4	54,2	19,4	19,3	300	53,1	543	$1,73 \times 10^{10}$	5647	10,4
3	53,2	51,4	57,6	19,4	19,4	299	50,9	576	$1,99 \times 10^{10}$	5875	10,2
4	50,2	48,5	54,4	19,4	19,5	300	53,1	571	$1,82 \times 10^{10}$	5653	9,9
5	52,7	50,9	57	19,6	19,6	300	54,7	522	$1,57 \times 10^{10}$	5481	10,5
6	51,5	48,9	55,4	19,5	19,5	300	63,0	486	$1,10 \times 10^{10}$	4759	9,8
7	53,4	50,8	54,6	19,6	19,7	300	60,0	471	$1,18 \times 10^{10}$	4996	10,6
8	54,6	52,1	56,8	19,7	19,7	300	57,5	488	$1,33 \times 10^{10}$	5220	10,7
9	54,6	51,9	56,8	19,7	19,8	300	57,2	485	$1,33 \times 10^{10}$	5242	10,8
10	53,4	51,2	56,9	19,9	19,9	300	59,7	479	$1,21 \times 10^{10}$	5029	10,5
Заболонная сосна											
1	52	50,3	56,3	19,6	19,5	300	54,3	491	$1,16 \times 10^{10}$	4861	9,9
2	47,1	45,5	50,9	19,1	19,2	300	58,6	463	$1,07 \times 10^{10}$	4812	10,4
3	51,5	49,8	55,8	19,7	19,7	300	52,3	479	$1,14 \times 10^{10}$	4889	10,2
4	49,1	47,4	53,1	19,6	19,5	300	56,6	463	$9,0 \times 10^9$	4585	9,9
5	43,8	42,3	47,4	19,7	19,7	300	60,8	407	$6,89 \times 10^9$	4112	10,1
6	51,2	49,7	55,7	19,9	19,9	300	65,3	469	$9,90 \times 10^9$	4595	9,8
7	49,6	47,2	53,1	19,8	19,9	300	64,8	449	$9,62 \times 10^9$	4627	10,3
8	48,1	46,5	51,2	19,8	19,9	300	66,0	433	$8,96 \times 10^9$	4548	10,5
9	52,1	50,1	56,8	19,6	19,9	300	61,2	485	$1,17 \times 10^{10}$	4903	10,1
10	57,6	54,8	60,8	19,9	19,8	300	59,5	514	$1,31 \times 10^{10}$	5041	9,8

Приложение В

Результаты колориметрических исследований

Таблица 1В - Результаты колориметрических исследований

№ п/п	Образец	Уровни RGB (средние значения по образцу)			Акустическая константа (К), м ⁴ / кг с
		red	green	blue	
1. Выдержанная древесина ели					
1.1.	С VI-1-Н-I	0,892	0,779	0,628	10,4
1.2.	С VIII-2-В-II	0,883	0,765	0,605	12,1
1.3.	С VIII-3-Н-II	0,869	0,755	0,599	12,3
1.4.	С VIII-4-Н-II	0,885	0,784	0,631	11,4
1.5.	3 VI-2-Н-I	0,876	0,766	0,610	12,2
1.6.	3 XII-4-В-I	0,884	0,784	0,615	11,6
1.7.	3 XII-5-Н-I	0,871	0,749	0,579	12,3
1.8.	3 XII-1-Н-II	0,884	0,752	0,624	11,6
1.9.	3 XII-3-Н-II	0,697	0,577	0,434	11,1
1.10.	3 XII-3-В-I	0,686	0,746	0,587	10,9
1.11.	3 XII-3-Н-I	0,894	0,759	0,624	11,1
1.12.	3 XII-2-В-I	0,885	0,771	0,628	12,0
1.13.	Ю IV-1-В-I	0,885	0,773	0,623	12,5
1.14.	Ю IV-1-Н-II	0,866	0,756	0,607	10,4
1.15.	Ю IV-1-Н-I	0,893	0,781	0,629	12,4
1.16.	Ю IV-2-Н-I	0,754	0,81	0,658	12,2
1.17.	Ю IX-1-В-II	0,838	0,729	0,583	12,9
1.18.	Ю IX-2-Н-I	0,831	0,713	0,572	11,5
1.19.	Ю IX-2-Н-II	0,854	0,746	0,597	12,5
1.20.	Ю IV-2-В-I	0,841	0,769	0,615	13,2
1.21.	Ю IV-1-В-II	0,924	0,813	0,664	11,1
1.22.	Ю IV-2-В-II	0,883	0,776	0,631	11,1
1.23.	Ю IX-2-Н-I	0,864	0,751	0,607	11,5
1.24.	С VI-1-Н-II	0,873	0,742	0,625	11,2
1.25.	С VI-1-В-I	0,826	0,741	0,594	11,4
1.26.	С VIII-3-Н-I	0,869	0,757	0,629	10,5
1.27.	В VII-4-В-I	0,895	0,765	0,641	11,3
1.28.	В VII-2-В-I	0,887	0,725	0,698	11,5
1.29.	В V-5-Н-I	0,864	0,761	0,643	11,5
1.30.	В V-1-Н-I	0,846	0,769	0,678	12,0

Продолжение таблицы 1 В

1.31.	В VII-1-Н-I	0,869	0,694	0,597	11,6
1.32.	В V-2-Н-I	0,874	0,749	0,588	11,4
1.33.	В V-3-Н-II	0,864	0,794	0,621	11,5
1.34.	В V-6-Н-I	0,877	0,765	0,697	12,0
1.35.	В V-1-Н-II	0,874	0,741	0,673	11,8
1.36.	С VI-2-Н-I	0,846	0,769	0,591	12,0
1.37.	С V-2-Н-I	0,867	0,756	0,596	11,0
1.38.	С V-2-Н-II	0,839	0,798	0,634	12,0
1.39.	3 VI-2-В-I	0,894	0,781	0,615	11,6
1.40.	3 VI-1-В-I	0,871	0,786	0,619	11,5
2. Свежая древесина ели					
2.1.	1Е	0,946	0,447	0,704	9,6
2.2.	2Е	0,929	0,835	0,694	9,2
2.3.	3Е	0,953	0,863	0,720	9,8
2.4.	4Е	0,933	0,851	0,719	9,4
2.5.	5Е	0,943	0,849	0,706	9,7
2.6.	6Е	0,961	0,838	0,725	9,8
2.7.	7Е	0,938	0,871	0,714	9,8
2.8.	8Е	0,926	0,867	0,731	9,7
2.9.	9Е	0,971	0,845	0,706	9,3
2.10.	10Е	0,980	0,886	0,735	9,2
3. Выдержанная заболонная древесина сосны					
3.1.	С X-5-Н-II	0,877	0,751	0,57	12,0
3.2.	3 VIII-3-Н-II	0,875	0,754	0,595	12,1
3.3.	3 X-3-В-II	0,869	0,748	0,562	10,6
3.4.	3 X-3-Н-I	0,877	0,758	0,595	12,2
3.5.	3 VIII-2-Н-II	0,743	0,757	0,596	11,6
3.6.	Ю XI-4-Н-I	0,784	0,695	0,539	9,2
3.7.	Ю XI-1-Н-II	0,767	0,633	0,479	7,7
3.8.	Ю XI-2-В-I	0,732	0,604	0,458	9,1
3.9.	В V-1-Н-II	0,710	0,777	0,588	10,2
3.10.	С X-2-В-III	0,752	0,62	0,474	10,1
3.11.	С X-4-Н-II	0,792	0,661	0,512	11,5
3.12.	3 VIII-4-Н-III	0,87	0,757	0,596	11,7
3.13.	3 VIII-5-Н-I	0,864	0,761	0,589	11,2
3.14.	В V-2-Н-II	0,809	0,684	0,533	10,3
3.15.	В V-3-Н-I	0,768	0,672	0,528	9,4
4. Свежая заболонная древесина сосны					
4.1.	1 ЗС	0,806	0,678	0,497	9,9

Продолжение таблицы 1В

4.2.	2 3С	0,928	0,804	0,625	10,4
4.3.	3 3С	0,759	0,638	0,48	10,2
4.4.	4 3С	0,937	0,82	0,645	9,9
4.5.	5 3С	0,900	0,761	0,614	10,1
4.6.	6 3С	0,864	0,723	0,606	9,8
4.7.	7 3С	0,916	0,614	0,504	10,3
4.8.	8 3С	0,782	0,788	0,523	10,5
4.9.	9 3С	0,857	0,794	0,542	10,1
4.10.	10 3С	0,864	0,725	0,622	9,8
5. Выдержанная ядровая древесина сосны					
5.1.	СХ-2-В-II	0,732	0,591	0,44	9,7
5.2.	С X-1-В-III	0,716	0,580	0,429	8,0
5.3.	СХ-4-Н-I	0,739	0,609	0,455	10,3
5.4.	С X-1-Н-II	0,774	0,635	0,475	10,0
5.5.	С X-2-Н-II	0,708	0,57	0,421	10,3
5.6.	С X-3-Н-II	0,767	0,631	0,482	10,9
5.7.	3 XII-3-В-II	0,727	0,595	0,447	11,7
5.8.	С X-1-Н-III	0,742	0,602	0,447	10,4
5.9.	С X-2-Н-III	0,719	0,587	0,44	11,5
5.10.	В VII-5-Н-I	0,861	0,749	0,586	7,7
5.11.	Ю XI-1-Н-I	0,760	0,630	0,485	9,1
5.12.	В V-4-Н-I	0,870	0,744	0,576	8,2
5.13.	С X-5-Н-III	0,871	0,749	0,573	11,6
5.14.	3 XII-2-В-I	0,751	0,615	0,459	11,4
5.15.	3 XII-3-В-I	0,747	0,593	0,485	11,3
5.17.	В VII-1-В-I	0,777	0,65	0,514	11,7
5.18.	В VII-2-В-I	0,749	0,624	0,492	10,3
5.19.	В VII-3-Н-I	0,749	0,617	0,477	8,2
5.20.	В V-2-В-I	0,817	0,681	0,519	10,6
5.21.	В V-1-Н-I	0,795	0,671	0,526	10,6
5.22.	В V-2-Н-I	0,791	0,663	0,515	10,5
5.23.	В V-3-В-I	0,876	0,786	0,579	11,2
5.24.	В V-6-Н-I	0,740	0,630	0,478	7,8
5.25.	Ю XI-3-Н-II	0,855	0,744	0,592	8,6
5.26.	Ю XI-3-Н-I	0,763	0,63	0,485	8,3
5.27.	Ю XI-3-Н-III	0,707	0,588	0,451	7,7
5.28.	С X-1-В-II	0,785	0,594	0,561	10,1
5.29.	С X-3-Н-I	0,701	0,582	0,441	11,5
5.30.	Ю XI-4-Н-II	0,750	0,608	0,464	9,0

Окончание таблицы 1В

6. Свежая ядровая древесина сосны					
6.1.	1 ЯС	0,796	0,669	0,453	9,8
6.2.	2 ЯС	0,788	0,676	0,521	10,4
6.3.	3 ЯС	0,842	0,715	0,562	10,2
6.4.	4 ЯС	0,829	0,695	0,533	9,9
6.5.	5 ЯС	0,832	0,706	0,551	10,5
6.6.	6 ЯС	0,849	0,625	0,496	9,8
6.7.	7 ЯС	0,852	0,728	0,578	10,6
6.8.	8 ЯС	0,859	0,733	0,58	10,7
6.9.	9 ЯС	0,834	0,708	0,559	10,8
6.10.	10 ЯС	0,830	0,709	0,561	10,5

Приложение Г
Проект стандарта организации

ПРОЕКТ СТО – 001 – 2021

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

**Методика отбора и испытаний резонансной выдержанной
древесины из строений**

Йошкар-Ола

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения высшего руководства университета.



УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «ЛГТУ»

И.В. Петухов

« 12 » 2021 г.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

Методика отбора и испытаний резонансной выдержанной древесины из строений

СТО – 001 – 2021

Вводится впервые с

« 10 » 01 2022 г.

РАЗРАБОТАНО:

Аспирант

кафедры стандартизации,
сертификации и товароведения

М.С. Чернова

« 8 » 12 2021 г.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой стандартизации,
сертификации и товароведения,

д.т.н., профессор

В.И. Федюков

« 8 » 12 2021 г.

Содержание

- 1 Область применения
- 2 Нормативные ссылки
- 3 Термины, определения, сокращения
 - 3.1 Термины и определения
 - 3.2 Сокращения
- 4 Основные положения
 - 4.1 Подготовка к проведению отбора резонансной древесины
 - 4.2 Выбор параметров для отбора резонансной древесины
- 5 Оборудование и материалы
- 6 Порядок проведения испытаний
- 7 Требования к окружающей среде
- 8 Обработка результатов

1 Область применения

Настоящий стандарт организации устанавливает порядок отбора и подготовки образцов для определения резонансных свойств древесины после длительной эксплуатации в зданиях и сооружениях.

2 Нормативные ссылки

В настоящем документе использованы ссылки на следующие документы:

ГОСТ 23431-79 «Древесина. Строение и физико-механические свойства. Термины и определения».

ГОСТ 16483.1-84 «Древесина. Метод определения плотности».

ГОСТ 16483.7-71 «Древесина. Метод определения влажности».

ГОСТ 16483.18-72 «Древесина. Метод определения числа годичных слоев в 1 см и содержания поздней древесины в годичном слое».

3 Термины, определения, сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте использованы термины и определения по ГОСТ 23431-79.

Термины, не регламентированные нормативными документами:

Резонансная древесина – древесина, применяемая для изготовления излучателей звука музыкальных инструментов.

Выдержанная древесина – древесина, подвергаемая атмосферной сушке, находящаяся в старых сооружениях в течение длительного времени.

Поперечно-радиальный керн – образец древесины цилиндрической формы, извлекаемый из бревен стены сооружения.

Поздняя древесина — процентное содержание поздней части в годичном слое, определяющее физико-механические и акустические свойства древесины.

Экспресс-диагностика – методика ускоренного проведения оценки состояния древесины неразрушающим способом.

Динамический модуль упругости – модуль упругости, определяемый динамическими механическими измерениями.

Резонансная частота (собственная) – естественно возникающая частота в образце, подвергаемая продольной или поперечной вибрации.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

K – акустическая константа исследуемого образца;

$E(E_{дин})$ – динамический модуль упругости Юнга образца;

ρ – плотность образца, кг/м³;

t – температура окружающей среды;

W – влажность, %;

m – масса образца, г;

m_w – масса образца при заданной влажности, г;

a, b, l – ширина, толщина, длина образца, мм;

V – объем образца, м³;

a_w, b_w, l_w – ширина, толщина, длина образца соответственно при заданной влажности;

K_{12}^w – коэффициент пересчета при влажности образцов, равной или меньше предела насыщения клеточных стенок;

C – скорость распространения звука;

τ – время распространения упругой продольной волны;

$f_{рез}$ – собственная (резонансная) частота колебания образца.

4 Основные положения

4.1 Подготовка к проведению отбора резонансной древесины

Выбор объекта осуществляется изучением породы и биологического состояния древесины (отсутствие признаков загнивания) в стенах домов путем обследования кернов, взятых с помощью широко применяемого лесоводами приростного (возрастного) бурава; при этом отобрались дома с лучшей биологической сохранностью древесины и, как правило, из хвойных пород.

Сооружение исследуется и определяются расположение стен относительно сторон света с помощью компаса и/или розы ветров региона. После их

определения необходимо нанести обозначение соответствующих сторон: С - север, Ю - юг, З - запад, В - восток. Допускается обозначение четвертных направлений.

В первую очередь исследование будет производиться на стенах конструктивных элементов сооружения, расположенных с южной, юго-западной и юго-восточной сторон перпендикулярно к розе ветров (рисунок 1).

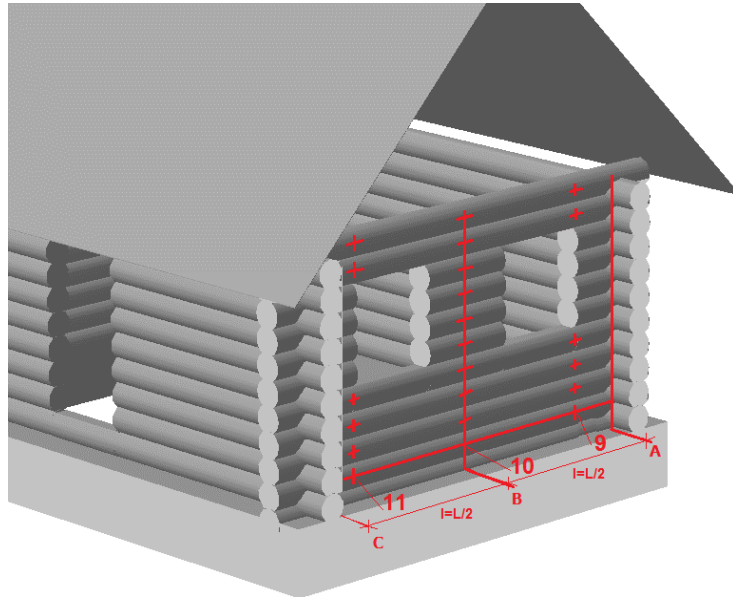


Рисунок 1 — Схема разметки участков стены объекта

В элементах выдержанного деревянного сооружения из круглых бревен необходимо определить расположение сердцевины l и годовичных слоев древесины (рисунок 1), чтобы обеспечить строго радиальный ориентир пробуривания.

На бревнах стен исследуемого объекта отмечают три точки в месте взятия образцов (рисунок 1):

- а) по двум сторонам, расположенные с одинаковыми смещениями от чашки сруба на расстоянии не менее 500 мм (линия А и С);
- б) от торца для конструктивных элементов без чашек, расположенные на расстоянии не менее 500 мм (4-9, 4-11);
- в) срединная линия В, расположенная по центру стены.

Пробуривание проходит строго в радиальном направлении (Рисунок 2).

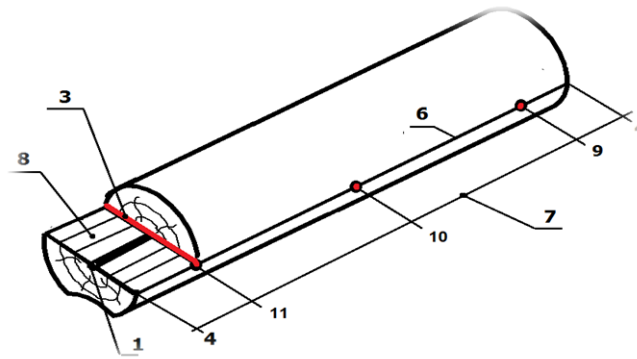


Рисунок 2 — Разметка участков на отдельно взятом конструктивном элементе объекта

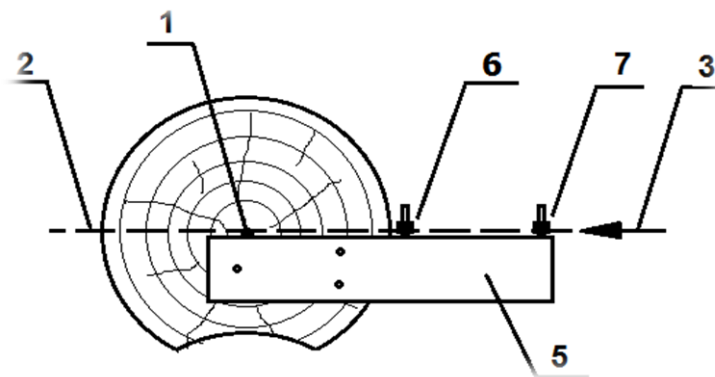


Рисунок 3 — Определение радиального направления

Планка 5 крепится жестко на двух торцах бревна 5(рисунок 2). Рабочая поверхность планок должна проходить через сердцевину 1 древесины.

Планки крепятся таким образом, чтобы их свободные концы выходили не менее 100 мм от поверхности элементов.

Два связующих элемента 6 и 7 располагаются таким образом, чтобы один из них был закреплен у поверхности, а другой на расстоянии от первого к свободному концу планки. Полученная таким образом в радиальном направлении плоскость исследуется.

4.2 Выбор параметров для отбора резонансной древесины

При проведении диагностики качества древесины определяются следующие показатели:

- цвет и биологическое состояние древесины;
- макростроение древесины (равнослойность, ширина годичных слоев и содержание в них поздней древесины);

- плотность древесины;
- скорость звука в древесине;
- динамический модуль упругости;
- акустическая константа.

5 Оборудование и материалы

5.1 При отборе образцов и проведении испытаний применяется следующее оборудование:

- возрастной бурав;
- ультразвуковой прибор УК-14П. Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения (Δ) времени распространения ультразвука на стандартных образцах, входящих в комплект прибора, не должен превышать значения

$$\Delta = \pm(0,01t + 0,1) \quad (1)$$

где t — время распространения ультразвука, мкс;

- прибор консольного типа крепления образцов древесины в виде кернов;
- линейка измерительная металлическая по ГОСТ 427-75 с ценой деления 1 мм;
- штангенциркуль по ГОСТ 166-89 с погрешностью измерения не более 0,1 мм;
- весы с погрешностью взвешивания не более 0,1 г;
- влагомер древесины по ГОСТ 16483.7-71.

5.2 Для получения достоверных результатов измерения между поверхностями образца исследования и рабочими поверхностями прибора должно быть обеспечено плотное соприкосновение.

Допускается применение прокладок в виде изоленты или резины, обеспечивающий сухой способ контакта.

Для всех образцов при ультразвуковом измерении должен быть обеспечен одинаковый контакт.

При проведении измерений прибором для отбора резонансной древесины образцы должны быть закреплены плотно, но без усилий.

6 Порядок проведения испытаний

6.1 Цвет древесины определяется визуально с помощью атласа цветов и/или современных колориметрических приборов, непосредственно у старого сооружения.

6.2 Допускается определение макростроения древесины также непосредственно у объекта исследования с помощью электронного дендрометра транзитного типа. Критерии для отбора резонансной древесины по макростроению: средняя ширина годичных слоев в пределах 1,0–4,0 мм, а содержание в них поздней древесины не должно превышать 30 %.

6.3 Базисная (условная) плотность древесины определяется методом выталкивающей силы при погружении в воду нестандартного образца (кернa). Определение стандартной плотности допускается проводить методом измерения сопротивления сверлению.

6.4 Скорость звука в древесине керна, а также динамический модуль упругости и акустическую константу допускается определить двумя методами: прямым измерением времени прохождения ультразвука через керн с помощью прибора УК-14 П и его аналогов; методом определения собственных колебаний образцов в виде стержней (кернов) консольного крепления.

7 Обработка результатов

7.1 Базисная плотность каждого образца вычисляется в килограммах на кубический метр по формуле

$$\rho_{\delta} = m_0 / V_{max}, \quad (2)$$

где ρ_{δ} – базисная (условная) плотность образца, кг/м³;

m – масса образца абсолютно сухой древесины, кг;

V_{max} – объем образца максимально разбухшей древесины, м³.

Результаты вычислений округляются до целого числа.

7.2 Показатель базисной плотности необходимо пересчитать на стандартную плотность ρ_{12} каждого образца при влажности W_{12} в момент по формуле

$$\rho_{12} = \rho_{\delta} / 0,802 \quad (3)$$

7.3 Скорость распространения звука C каждого образца при измерениях ультразвуковым методом и определения собственные колебания образцов в виде стержней (кernов) вычисляются в метрах на секунду по формулам соответственно:

$$C = \frac{l}{\tau}, \quad (4)$$

$$C = \frac{0,983 \cdot l^2 \cdot f_{рез}}{h}, \quad (5)$$

где ρ – плотность образца, кг/м³;

l – длина образца, м;

τ – время распространения упругой продольной волны, с.

$f_{рез}$ – собственная (резонансная) частота колебания образца, Гц;

h – толщина образца, м.

7.4 Акустическая константа каждого образца вычисляется в м⁴/(кг·с) следующим образом

$$K = \sqrt{\frac{E_{дин}}{\rho^3}} = \frac{C}{\rho}, \quad (6) \text{ или } K = \frac{0,983 \times l^2 \times f_{рез}}{\rho \times h}, \quad (7)$$

где $E_{дин}$ – динамический модуль упругости Юнга, Н/м²;

ρ – плотность образца, кг/м³;

c – скорость распространения звука, м/с;

l – длина образца, м;

$f_{рез}$ – собственная (резонансная) частота колебания образца, Гц;

h – толщина образца, м.

Пороговое значение акустической константы K , для резонансной древесины при измерении в поперечном направлении относительно волокон древесины в образцах в виде радиальных kernов, должна быть в пределах 4,0–4,5 м⁴/кг·с, то есть не менее 3-х раз по сравнению со стандартным показателем, полученным путем продольных измерений вдоль волокон древесины ($K \geq 12$ м⁴/кг·с).

Приложение Д

Патент на изобретение «Способ для экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной в старых сооружениях древесины»



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **2 665 149⁽¹³⁾ C1**(51) МПК
G01N 33/46 (2006.01)(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**(52) СПК
G01N 33/46 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017128246, 07.08.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.08.2017Дата регистрации:
28.08.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.08.2017

(45) Опубликовано: 28.08.2018 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

424000, Респ. Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл.
Ленина, 3, ФГБОУ ВО "Поволжский
государственный технологический
университет", отдел научных программ,
публикаций и интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

**Федюков Владимир Ильич (RU),
Чернов Василий Юрьевич (RU),
Чернова Мария Сергеевна (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Поволжский государственный
технологический университет" (RU)**(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2577886 C2, 20.03.2016. RU
2526648 C2, 27.08.2014. RU 2334984 C2,
27.09.2008. RU 2130611 C1, 20.05.1999. RU
2439561 C2, 10.01.2012. CA 2890124 A1,
08.05.2014. US 2008/0197054 A1, 21.08.2008.

(54) Способ для экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной в старых сооружениях древесины

(57) Формула изобретения

Способ экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной в старых сооружениях древесины, включающий применение инструментов для отбора образцов древесины и последующего определения ее физико-механических свойств, отличающийся тем, что экспресс-диагностика резонансных свойств древесины осуществляется посредством их обследования, выявления расположения стен и других конструктивных элементов относительно сторон света и преобладающей розы ветров конкретного региона; для определения мест отбора образцов и экспресс-диагностики резонансных свойств древесины в строго радиальном направлении применяются планки, устанавливаемые жестко на противоположных торцах каждого исследуемого конструктивного элемента так, чтобы их прямолинейные рабочие поверхности проходили через сердцевину исследуемой древесины; свободные концы планок должны выходить не менее чем на 100 мм от внешней поверхности конструктивного элемента, при этом на их рабочие поверхности закреплены по два крепежных элемента, один из которых расположен у внешней поверхности исследуемой древесины, а другой на некотором расстоянии от него ближе к свободному концу планки; на которых закреплены связующие элементы, соединяющие планки противоположных торцов конструктивного элемента, образующие секущую его в радиальном направлении

RU 2 665 149 C 1

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Патент на изобретение «Способ экспресс-диагностики резонансных свойств древесины после долгого выдерживания в потолочной конструкции старых сооружений»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2739928

**Способ экспресс-диагностики резонансных свойств
древесины после долгого выдерживания в потолочной
конструкции старых сооружений**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Поволжский государственный технологический
университет" (RU)*

Авторы: *Федюков Владимир Ильич (RU), Чернов Василий
Юрьевич (RU), Чернова Мария Сергеевна (RU), Цой Ольга
Викторовна (RU)*

Заявка № 2020115277

Приоритет изобретения 30 апреля 2020 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 29 декабря 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 30 апреля 2040 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **2 739 928**⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A01G 23/00 (2006.01)
G01N 33/46 (2006.01)(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**(52) СПК
A01G 23/00 (2020.08); G01N 33/46 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020115277, 30.04.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.04.2020Дата регистрации:
29.12.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.04.2020

(45) Опубликовано: 29.12.2020 Бюл. № 1

Адрес для переписки:

424000, рес. Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл.
Ленина, 3, ФГБОУ ВО "ПГТУ"

(72) Автор(ы):

Федюков Владимир Ильич (RU),
Чернов Василий Юрьевич (RU),
Чернова Мария Сергеевна (RU),
Цой Ольга Викторовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Поволжский государственный
технологический университет" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2665149 C1, 28.08.2018. RU
2577886 C2, 20.03.2016. EP 2823298 A1,
14.01.2015. JP 5179970 B2, 10.04.2013. CN
109076637 A, 21.12.2018.

(54) Способ экспресс-диагностики резонансных свойств древесины после долгого выдерживания в потолочной конструкции старых сооружений

(57) Формула изобретения

Способ экспресс-диагностики резонансных свойств древесины после долгого выдерживания в потолочной конструкции старых сооружений, отличающийся тем, что осуществляют путем визуального изучения характерных особенностей макроструктуры и отсутствия внешних дефектов древесины, помечают краской потолочные доски из хвойных пород радиальной распиловки, ориентируясь по расположению годичных слоев древесины на пласти, которые не содержат пороков древесины, из средней части доски примерно до середины пласти строго перпендикулярно к ее ребру с помощью пилы-лобзика выпиливают прямоугольный параллелепипед шириной 25 мм, из которого изготовляют один цельный образец по этой ширине, а длина образца должна находиться строго в пределах той зоны, куда не входят ювенильная древесина (центральная часть) и периферийная часть, где отсутствует равнослойность макроструктуры, для достижения этих условий внутреннюю границу образца устанавливают, отходя на 10-15 мм от сердцевинной трубки, а внешнюю границу на такое же расстояние, но отходя от ребра кромки, с помощью электронного дендрометра транзитного варианта, в котором установлено приспособление для крепления образца в виде прямоугольного параллелепипеда, непосредственно на месте объекта определяют показатели макроструктуры и путем сопоставления полученных результатов с установленными

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Акт об использовании результатов научных исследований в учебном процессе



УТВЕРЖДАЮ:
 Директор Департамента
 образовательной деятельности
 ФГБОУ ВО «ПГТУ»
 /Конюхова Т.А./
 « 10 » 05 2022 г.

А К Т

об использовании результатов научных исследований Черновой Марии Сергеевны в учебном процессе ПГТУ

Методическая комиссия института Леса и природопользования в составе: председателя методической комиссии - д. с.-х. наук, доцент, зав. кафедрой ЛКСиБТ Мухортов Дмитрий Иванович.

и приглашенных: канд. тех. наук, доцент, директор ИЛП, Волдаев Максим Николаевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ССТ Федюков Владимир Ильич составила настоящий акт о том, что материалы и результаты научных исследований Черновой М.С. на тему «Разработка неразрушающих методов диагностики резонансных свойств древесины после длительной эксплуатации в зданиях и сооружениях» использованы в учебном процессе подготовки обучающихся по направлению подготовки 27.03.01 «Стандартизация и метрология» в следующих формах:

№	Результат исследования	Учебная дисциплина	Форма использования
1	Повышение учебно-методического уровня путем внедрения результатов исследований в проведении лабораторных и практических занятий	Б.1.2.2 Основы квалиметрии древесного сырья/ Квалиметрический анализ качества древесины / основы системы экологического менеджмента	Лабораторные и практические занятия


Материалы обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Стандартизация, сертификация и товароведение»

« 13 » 04 2022 г.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:

Заведующий кафедрой:

 / Мухортов Д.И.
 / Волдаев М.Н.
 / Федюков В.И.
 / Федюков В.И.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3**Акт о внедрении результатов диссертационной работы****АКТ**

о внедрении результатов диссертационной работы
Черновой Марии Сергеевны

Комиссия в составе:

Председатель: А.В. Кренев, начальник учебно-производственного
отдела ДИХР.

Члены комиссии: А.Ю. Сырисенков, учебный мастер;
В.И. Федюков, заведующий кафедрой ССТ ПГТУ,
д.т.н., профессор, научный руководитель;
М.С. Чернова, зав. лабораторией кафедры ССТ,
соискатель.

Составили настоящий Акт о том, что результаты диссертационной
работы «Разработка неразрушающих методов диагностики резонансных
свойств древесины после длительной эксплуатации в зданиях и
сооружениях» прошли производственную апробацию и приняты для
использования.


Учебно-производственный отдел ДИХР ПГТУ наладил производство
по выработке резонансных заготовок из выдержанной в старых
сооружениях древесины для изготовления марийских национальных
инструментов – гуслей.

Основные положения разработанного соискателем СТО «Методика
отбора и испытаний резонансной выдержанной древесины из строений»
также внедрены в производство, что обеспечило оптимизацию процессов
целевого отбора сырья в заброшенных домах на территории Республики
Марий Эл.

На основании вышеизложенного, комиссия считает, что
предложенный способ для экспресс-диагностики резонансных свойств
выдержанной в старых сооружениях древесины целесообразно

использовать в неразрушающем отборе качественного материала целевого назначения с прогнозируемыми техническими характеристиками для изготовления музыкальных инструментов, акустических панелей зрительных залов, театров, а также других специальных сортиментов из древесины в лесопромышленном комплексе для расширения потенциальных объектов деревообработки.

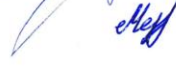
Председатель комиссии

 А.В. Кренев

Члены комиссии:

 А.Ю. Сырисенков

 В.И. Федюков

 М.С. Чернова